

---

# **DIPLOMARBEIT**

---

**Alfred Plank**

**E - Learning  
Analysen zum Tutorium  
Digitale Signalverarbeitung**

2010



# **DIPLOMARBEIT**

---

## **E - Learning Analysen zum Tutorium Digitale Signalverarbeitung**

Autor:

**Alfred Plank**

Studiengang:

Informationstechnik

Seminargruppe:

KI08wStA

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. habil. Reinhard Sporbert

Zweitprüfer:

Dipl.-Ing. Norbert Göbel

Mittweida, September 2010





## **Bibliografische Angaben:**

Plank, Alfred:

E – Learning Analysen zum Tutorium Digitale Signalverarbeitung , Mittweida,  
Hochschule Mittweida, (FH), University of Applied Sciences, Fachbereich  
Elektro- und Informationstechnik

Diplomarbeit, 2010

## **Referat:**

Die vorliegende Diplomarbeit soll moderne Lernmethoden anhand des Beispiels Digitale Signalverarbeitung analysieren. Dabei sollen die heute bekannten Methoden des computerunterstützten Lernens gegenübergestellt, bewertet und ein Vergleich von verschiedenen Softwaretypen durchgeführt werden. Eine Untersuchung der Anwendung von computerunterstütztem Lernen im Erwachsenenbereich soll Aufschluss geben, wie und in welcher Form die zur Verfügung gestellte Lernsoftware aufgebaut sein soll, um einen besseren Lernerfolg zu erzielen, durch welche Möglichkeiten der Aufwand des Lernenden verringert werden, bzw. wodurch die Motivation des Lernenden gesteigert kann.



# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VII
1	Einleitung ..... 1
1.1	Motivation ..... 1
1.2	Zielsetzung..... 2
1.3	Kapitelübersicht ..... 2
2	E – Learning..... 3
2.1	Geschichte Entwicklung von E – Learning ..... 3
2.2	Begriffsdefinition ..... 3
2.2.1	Interaktives Video..... 3
2.2.2	Hypertext und Hypermedia..... 4
2.2.3	Multimedia..... 4
2.2.4	Interaktivität..... 4
2.2.5	Computer Based Training CBT ..... 5
2.2.6	Web Based Training WBT..... 5
2.2.7	Blended Learning ..... 5
3	Psychologische Aspekte ..... 7
3.1	Wissen und Lernen ..... 7
3.1.1	Deklaratives Wissen ("Wissen dass")..... 8
3.1.2	Prozedurales Wissen ("Wissen wie")..... 8
3.2	Behaviorismus ..... 8
3.3	Kognitivismus..... 9
3.4	Konstruktivismus..... 9
3.5	Konnektivismus..... 10
3.6	Interaktives Lernen..... 10
3.6.1	Lernziele ..... 11
3.6.2	Lernarten ..... 12
3.7	E – Learning im Erwachsenenbereich ..... 12
4	Software Typologie ..... 13
4.1	Präsentation- und Visualisierungssoftware..... 13
4.1.1	Didaktische Konzepte ..... 14
4.2	Drill- und Testsoftware ..... 15

---

4.3	Tutorsysteme .....	15
4.4	Simulationen .....	16
4.4.1	Didaktische Konzepte.....	17
4.5	Mikrowelten und Modellbildung .....	17
4.6	Kriterien für Lernprogramme .....	18
5	Konzeption .....	19
5.1	Einleitung .....	19
5.2	Thema der Lernsoftware .....	20
5.3	Aufbau des Programms.....	20
5.4	Lernkonzept .....	20
5.4.1	Zielgruppe .....	21
5.4.2	Bedienung des Programms.....	21
5.4.3	Visuelles Konzept.....	22
5.4.4	Lerninhalte und Lernziele .....	22
5.4.5	Lernstrategie .....	22
5.4.6	Lernwege und Erfolgskontrolle .....	23
5.4.7	Darstellungskonzept.....	24
5.5	Autorensysteme .....	24
5.5.1	Anforderungen .....	24
5.5.2	Klassifikation .....	26
5.5.3	Auswahl .....	28
5.6	Untersuchte Software.....	29
5.6.1	MS Powerpoint.....	29
5.6.2	Adobe Flash.....	30
5.6.3	Adobe Director .....	32
5.6.4	Mediator .....	34
6	Realisierung .....	37
6.1	Gestaltung.....	37
6.1.1	Prinzipieller Rahmen .....	37
6.1.2	Text und Farben.....	38
6.1.3	Navigation .....	38
6.1.4	Programmstruktur .....	40
6.2	Umsetzung der Kapitel .....	42
6.2.1	Kapitel Einführung.....	42
6.2.2	Kapitel Lexikon.....	43
6.2.3	Kapitel Übungen.....	44
6.2.4	Kapitel Filter Free.....	45

---

7	Zusammenfassung und Ausblick.....	47
7.1	Zusammenfassung.....	47
7.2	Erreichte Ziele.....	48
7.3	Ausblick .....	48
Anlagen	.....	49
Literaturverzeichnis	.....	119
Eidesstattliche Erklärung	.....	123



---

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1:	Theorien in der betrieblichen Bildung [Kuh S. 43].....	7
Abbildung 3.2:	Teil des Lernziels [Sch04 S. 200].....	11
Abbildung 4.1:	Kriterien der Lernsoftware nach vorgegebenen Anforderungs- kriterien [Naz04 S. 14].....	18
Abbildung 5.1:	Instructional System Design: ADDIE Modell [Kon] .....	19
Abbildung 5.2:	Verknüpfung der Buchseiten in einem System, das die Buch- seiten-Metapher nutzt. ....	26
Abbildung 5.3:	Benutzeroberfläche von Powerpoint.....	30
Abbildung 5.4:	Benutzeroberfläche von Flash.....	32
Abbildung 5.5:	Benutzeroberfläche von Director.....	33
Abbildung 5.6:	Benutzeroberfläche von Mediator .....	35
Abbildung 6.1:	Raumaufteilung der Masterseite .....	37
Abbildung 6.2:	Schaltflächen der Masterseite .....	38
Abbildung 6.3:	Schaltflächen des Kapitelmenüs Lexikon .....	39
Abbildung 6-4:	Programmstruktur Teil 1.....	40
Abbildung 6.5:	Programmstruktur Teil 2.....	41
Abbildung 6.6:	Digitale Signalverarbeitungskette.....	42
Abbildung 6.7:	Beispiel Seite Einführung .....	42
Abbildung 6.8:	Übersicht der Kapitel.....	43
Abbildung 6.9:	Beispiel Seite Lexikon .....	44
Abbildung 6.10:	Übersicht Übungen .....	45





## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 5.1: Übersicht einiger Autorensysteme	29
Tabelle 6.1: Schaltflächen der Abschnitte	39



# 1 Einleitung

Das einleitende Kapitel zeigt die Motivation und die Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit auf. Gleichzeitig wird ein kurzer Überblick zu den einzelnen Kapiteln dieser Arbeit angeführt.

Da in der deutschen Sprache durch den generischen Maskulin beide Geschlechter gleichermaßen mit einbezogen werden, wird in dieser Diplomarbeit auf ein angehängtes "Innen" und dergleichen verzichtet.

## 1.1 Motivation

Im ersten Semester gab es zusätzlich zu den Vorlesungsunterlagen ein Tutorium für analoge Signale. Eine große persönliche Hilfe für das Selbststudium waren für mich die hier zu erarbeitenden Beispiele und Übungen für die analoge Signaltechnik.

Im zweiten Semester stand dieses Tool für die digitale Signalverarbeitung nicht zur Verfügung. Im Rahmen meiner Diplomarbeit möchte ich für die digitale Signaltechnik ein Tutorium erstellen.

In Form eines webbasierenden Systems soll mit Hilfe einer Plattform für Studenten des Direkt- und Fernstudiums die Gelegenheit bestehen den Gegenstand "Digitale Signalverarbeitung" im Selbststudium zu erarbeiten. Der Kurs soll als Zusatz zur normalen Vorlesung dienen, als sogenanntes "Blended Learning". Darunter ist eine Mischung aus der normalen Vorlesung und der Verfügbarkeit von Teilen der Vorlesung als E - Learning zu verstehen.

Die eigentliche Diplomarbeit soll E – Learning als neue Möglichkeit der Bildung analysieren und aufzeigen wie weit und in welchem Umfang es als zusätzliches Angebot von Lernmaterial vernünftig eingesetzt werden kann. Weiters soll untersucht werden, wie eine Software aufgebaut sein und auf welche Weise sie funktionieren soll, damit mit dem geringsten Aufwand der größte Nutzen erzielt werden kann. Als Beispiel wird das Tutorium für digitale Signale verwendet.

## 1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Diplomarbeit soll moderne Lernmethoden anhand des Beispiels Digitale Signalverarbeitung analysieren. Dabei sollen die heute bekannten Methoden des computerunterstützten Lernens gegenübergestellt, bewertet und ein Vergleich von verschiedenen Softwaretypen durchgeführt werden. Eine Untersuchung der Anwendung von computerunterstütztem Lernen im Erwachsenenbereich soll Aufschluss geben, wie und in welcher Form die zur Verfügung gestellte Lernsoftware aufgebaut sein soll, um einen besseren Lernerfolg zu erzielen, durch welche Möglichkeiten der Aufwand verringert, bzw. wodurch die Motivation des Lernenden gesteigert werden kann.

## 1.3 Kapitelübersicht

Die Diplomarbeit besteht aus fünf Kapiteln. Im einleitenden **1. Kapitel** wird dargestellt wie diese Arbeit zustande gekommen ist.

Das **2. Kapitel** beschäftigt sich mit den Grundlagen, Begriffen und Definitionen von E – Learning.

Anschließend werden im **Kapitel 3** die Vor- und Nachteile einer Weiterbildung mittels E – Learning im Erwachsenenbereich untersucht.

Im **Kapitel 4** wird die Erstellung des Tutoriums für Digitale Signalverarbeitung analysiert und die Gründe für die Erstellung in der vorliegenden Form näher erläutert.

**Kapitel 5** beschreibt die technische Realisierung des Tutoriums für Digitale Signalverarbeitung.

**Kapitel 6** ist eine Zusammenfassung der Arbeit mit Ausblick auf weitere Möglichkeiten in der Zukunft.

Im **Anhang** ist das Tutorium für Digitale Signalverarbeitung als Bildschirmausdruck angefügt.

## **2 E – Learning**

### **2.1 Geschichte Entwicklung von E – Learning**

Lernen mit technischen Hilfsmitteln ist keine Erfindung der Neuzeit. Schon im 15. Jahrhundert wurde die erste Lernmaschine – "ein Leserad" - für den König von Frankreich gebaut. [Wik10]

Es gab noch eine Reihe von Versuchen eine brauchbare Lernmaschine herzustellen, aber erst mit der Entwicklung der Personal Computer (PC) war es möglich kostengünstig die weite Verbreitung der Lernprogramme zu erzielen. Einen weiteren Aufschwung gab es ab Mitte der 90iger Jahre durch den Einsatz von Internet für das E – Learning.

### **2.2 Begriffsdefinition**

Das Lernen mit elektronischen Medien bezeichnet man als E - Learning. Es ist ein Lernprozess der durch Rechentechnologie, meist Personal Computer, unterstützt wird. Dieser Prozess umfasst Informationen, Abläufe, Aktivitäten und den Anwender (Lernenden). Lernsoftware oder auch Lernprogramm ist ein häufig verwendeter Begriff. Hier ist dieser als Software zu verstehen, die eigens für Lehr- und Lernzwecke programmiert wurde und im Bildungsbereich eingesetzt wird. Bildungssoftware ist ein weiterer Begriff der jede Art von Software bezeichnet die irgendwie im Bildungsbereich Anwendung findet. [Bau99 S. 137]

Nachfolgend werden auszugsweise einige in dieser Arbeit verwendeten Begriffe näher erläutert.

#### **2.2.1 Interaktives Video**

Dieser Begriff kam ursprünglich aus der Unterhaltungselektronik und wird zur Bezeichnung einer bestimmten Technik, die eine spezielle Hardware benutzt, verwendet. Solche Systeme ermöglichen das wahlfreie Abrufen von Videos. Eine reale Interaktion mit dem Video ist nicht gegeben, da der Anwender keine Möglichkeit hat in das ablaufende Video einzugreifen. [Bau99 S. 140]

### 2.2.2 Hypertext und Hypermedia

Mit der steigenden Verbreitung des Internets, sowohl in beruflichen als auch in privaten Bereichen haben die Begriffe Hypertext und Hypermedia stark an Bedeutung gewonnen. Der bekannteste Hypertext ist sicherlich Hypertext Markup Language (HTML). Die Begriffe Hypertext und Hypermedia werden meistens synonym benutzt. Hypertext betont dabei den textgebundenen Anteil, Hypermedia hingegen den multimedialen Anteil.

Hypertext-Anwendungen liegen als nichtlineare vernetzte Strukturen vor, die hierarchisch aufgebaut und vielfältig verschachtelt sein können. Es entsteht eine Art Netzstruktur, die allerdings für den Benutzer meist verborgen bleibt. Der Grad der Vernetzung ist dabei bei verschiedenen Systemen recht unterschiedlich. Hypermedia setzt sich aus den Begriffen Hypertext und Multimedia zusammen.

Bei einem Autorensystem, eine Software zur Erstellung eines multimedialen Lernprogramms mit weniger oder gar keinen Programmierkenntnissen, sind Hypertext und Hypermedia integriert, können aber nicht als eigenständige Bildungssoftware angesehen werden. [Bau99 S. 140f.]

### 2.2.3 Multimedia

"Multimedia begann als das erste Klavier ins Stummfilmkino geschoben wurde". Seit dieser Zeit ist es ein Begriff der ausschließlich die Kombination von verschiedenen Medien beschreibt. Kombinationen von Text und Bild, Text und Ton oder Ton und Bild. [Sch07 S. 13]

Multimedia ist eine Mischung aus verschiedenen Technologien und Medien, wobei in der Regel mindestens eines ein dynamisches Medium ist (Video, Audio, Animation) die zusammen ein Multimediaprodukt ergeben. Die Verknüpfung der unterschiedlichen Medien wird in sehr vielen Fällen von einem Personal Computer (PC) durchgeführt. Dabei werden verschiedene Medien wie Text, Grafik, Audio, Video und Animation integriert. Aufgrund der unterschiedlichen Medien ist ein Teil davon zeitabhängig, z. B. Video und ein Teil zeitunabhängig, z. B. Text.

### 2.2.4 Interaktivität

Interaktion kennzeichnet nach Schulmeister [Sch07 S. 39] den wesentlichen Unterschied zwischen einem computerunterstützten Lernprogramm und einem Film. Aus Sicht der Computer sind Interaktionen Eingaben, die entweder über die Tastatur, Maus oder weiteren Eingabegeräten vom Bediener durchgeführt werden. Der Bediener ist

nicht mehr nur Zuhörer des Mediums, sondern hat die Möglichkeit sich aktiv an dem Kommunikationsprozess zu beteiligen. [Nie04 S. 109]

### **2.2.5 Computer Based Training CBT**

Bereits in den 80iger Jahren wurde aufgrund des Einsatzes von PC's das durch Rechner unterstützte Lernen forciert. Mittels Datenträger (CD, DVD, Diskette) konnte eine Lernsoftware bezogen und das Lernprogramm vom Benutzer zeitlich und räumlich flexibel genutzt werden, das bedeutet, kein Kontakt zu anderen Benutzern, die die gleiche Software verwenden. Bei dieser Art steht das Selbststudium im Vordergrund und eine Kommunikation mit einem Lehrenden sollte wegen der Art des Aufbaus der Software nicht notwendig sein.

### **2.2.6 Web Based Training WBT**

Erst durch die Verbreitung des Internets konnte durch Weiterentwicklung des CBT's ein WBT erstellt werden. Dabei befindet sich die Software nicht mehr auf einem Datenträger, sondern kann online über das Internet abgerufen werden. Dadurch ergeben sich weitere Möglichkeiten, wie z. B. die Kommunikation mit anderen Benutzern, ebenso können Fragen an einen Lehrenden gestellt werden.

### **2.2.7 Blended Learning**

Blended Learning wird nicht als reines E – Learning gesehen sondern ist eine Kombination von traditionellen Vorlesungen und Selbststudium in Form von E – Learning. Das Selbststudium ist nur begleitend zu der Vorlesung, wobei hier nur bestimmte Schwerpunkte und Übungen dargestellt sind. Somit ist diese Art nicht nur als reine Lernsoftware, sondern mehr als eine Form für Übungsaufgaben, zu sehen. [Mor08 S. 21]





### 3 Psychologische Aspekte

Jedem Computerprogramm das Wissen vermitteln soll liegt ein Lernmodell zugrunde.

Der Lernerfolg wird nicht automatisch mit einem guten Tutorial erzielt. Das Tutorium kann systematisch und methodisch aufgebaut sein, aber für die Aufnahme und Verarbeitung der Inhalte ist der Studierende noch immer selbst verantwortlich. Ob mit der angewendeten Software das Lernziel erreicht wird ist nicht nur vom Programmierer abhängig. Das Ziel vom Ersteller einer Lernsoftware sollte sein, gestalterische und didaktische Kriterien zu berücksichtigen und die Lernumgebung klar und verständlich darzustellen um einen guten Lernerfolg zu erzielen.

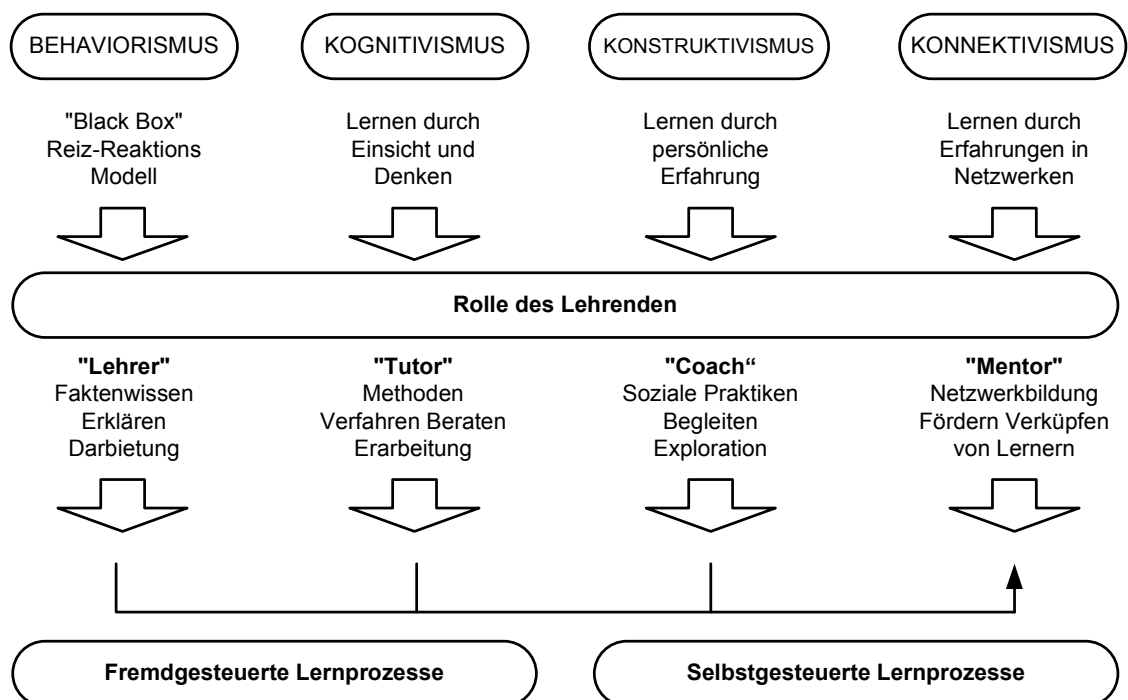


Abbildung 3.1: Theorien in der betrieblichen Bildung [Kuh S. 43]

#### 3.1 Wissen und Lernen

Wissen und Lernen stehen in einem sehr engen Kontext zueinander. Das Lernen ist der aktive Prozess mit dem Ziel sich Wissen anzueignen. Wissen ist kein statischer

Bestandteil sondern man versteht darunter ein komplexes, vernetztes und dynamisches System.

### 3.1.1 Deklaratives Wissen ("Wissen dass")

Faktenwissen oder auch statisches Wissen wird deklaratives Wissen genannt. Wie diese Art von Wissen präsentiert werden kann, lässt sich in zwei verschiedenen Formen aufzeigen:

- Sprachliche Äußerung  
Beispiel: Berlin ist die Hauptstadt von Deutschland
- Bildliche Darstellung  
Beispiel: Präsentation einer entsprechenden Landkarte

Welche Art der Wissensvermittlung besser ist, ist bis heute noch nicht geklärt. Die besten Ergebnisse wurden durch die Kombination beider Arten erzielt. [Bau99 S. 21]

### 3.1.2 Prozedurales Wissen ("Wissen wie")

Prozedurales Wissen wird als dynamisches Wissen bezeichnet. Dabei geht es um die Erreichung eines angestrebten Ergebnisses mit Hilfe einer Prozedur. Bei jeder Prozedur wird automatisch neues Wissen erlernt. Nach Baumgartner und Payr gibt es drei charakteristische Merkmale für prozedurales Wissen. [Bau99 S. 22]

- "Zielgerichtetheit"
- "Zerlegung des Gesamtzieles in Teilziele"
- "Wahl und Beschreibung der für die Umsetzung der Teilziele notwendigen Operationen (Handlungen)"

Prozedurales Wissen ist die Fähigkeit des eigenständigen Aneignens von neuem Wissen, wobei aber gelerntes Wissen dazu verwendet wird um Problemstellungen autonom lösen zu können.

## 3.2 Behaviorismus

Behavioristische Lehrstrategien gehen davon aus, dass Lehrende wissen, was die Lernenden zu lernen haben. [Bau99 S. 101]

Hier wird von der Annahme ausgegangen, das Gehirn sei eine Art "Black Box". Das Konzept sieht vor, dass das Gehirn eines Lebewesens einen Reiz erhält und dann auf diesen passiv reagiert. Somit werden die Reize des Lernenden beeinflusst um ein vorgegebenes Lernergebnis zu erzielen.

Je nach Erreichung des Lernergebnisses kann der Lehrende positiv oder negativ auf das Verhalten des Lernenden reagieren. Eine weitere Möglichkeit ist das Verhalten des Lernenden einfach zu ignorieren. Auf eine positive Reaktion verstärkt sich nach den Annahmen des Reiz-Reaktion-Modells sein Verhalten bzw. bei negativer Reaktion wird eine kurzfristige Reduktion des Verhaltens erreicht. Bei Ignoranz kann eine völlige Löschung einer ungewünschten Reaktion erreicht werden. [Beh06]

### 3.3 Kognitivismus

Im Kognitivismus wird der Lerner im Gegensatz zu Behaviorismus mehr gefordert. Der Lerner muss die aufgenommenen Informationen internalisieren<sup>1</sup> und mit bereits existierendem Vorwissen abgleichen. In diesem Prozess werden die für ihn relevanten Informationen ermittelt, um daraus Regeln generieren zu können. Lernen wird als besonderer Fall der Informationsaufnahme und Informationsspeicherung beschrieben, dessen Güte einerseits von der Art der Informationsaufbereitung und Informationspräsentation und andererseits von den kognitiven Aktivitäten des Lerners abhängig ist. Der Lerner muss selbständig herausfinden und entscheiden, welche Inhalte ihn interessieren und welche Kompetenzen er in welchen Wissensgebieten vertiefen möchte. Die klaren Lernvorgaben und Zielsetzungen erschweren ein selbständiges Lernen. [Arn S. 3]

### 3.4 Konstruktivismus

Der Lerner soll sein erlerntes neues Wissen selbständig konstruieren. Lernen erfolgt in authentischen<sup>2</sup> Anforderungssituationen und soll möglichst gemeinsam mit Lerngruppen erfolgen. Die Basis bilden eigene Handlungen und Erfahrungen. Auf der einen Seite wird Wissen durch Lernen erworben und auf der anderen Seite werden die eigenen Erfahrungen und Kenntnisse eingebracht. Die eigene und selbständige Lernaktivi-

---

<sup>1</sup> Synonyme: in sich aufnehmen, verzehren, aufsaugen, eingehen in, sich zu eigen machen, aufnehmen, einverleiben, annehmen,

<sup>2</sup> gemeint ist hier praxisnahe oder praxisähnliche Umgebung bzw. Anforderung

tät steht im Vordergrund. Der Lerner gestaltet den Lernprozess nach seinen persönlichen individuellen Erfahrungen.

Die Lerninhalte bzw. die Lernanforderungen sind derart aufgebaut, dass damit komplexes Sachwissen erworben wird. [Arn S. 3]

### **3.5 Konnektivismus**

Wissensaufnahme wird nicht nur durch Lernen erzielt sondern auch durch Erfahrungen und speziell durch Erfahrungen die von Mitstreitern gemacht wurden. Durch die enorme Steigerung unseres Gesamtwissens ist es nicht mehr möglich alle Erfahrungen selber zu machen. Der Lerner nimmt sein Wissen aus seinem eigenen Studium, wobei der größte Teil der Wissensvermittlung durch seine Umgebung, durch Internetabfragen von Datenbanken und durch Erfahrungsaustausch mit Organisationen und außenstehenden Personen erfolgt. Durch Aufbau von geeigneten Netzwerken ist es möglich unseren Wissensstand immer aktuell zu halten. Dieser Vorgang ist nicht nur von uns abhängig sondern wird sehr stark vom Umfeld in dem man sich befindet geprägt.

Der Lerner benötigt die Fähigkeit relevantes Wissen für den Lernprozess zu identifizieren, zu bewerten, zu beschreiben und in einem gemeinsamen Prozess mit Lernpartnern weiter zu entwickeln. Der Lehrende nimmt immer öfters die Rolle des Mentors ein als sogenannter aktiver Zuhörer. [Kuh S. 49]

### **3.6 Interaktives Lernen**

Die Basis für Computer Based Training und Web Based Training sind interaktive Lernsysteme. Sie sind plattformunabhängig und sollen eine bestimmte Zielgruppe ansprechen. Für die Entwicklung eines Systems sind Fachkenntnisse und Erfahrungen in verschiedenen Bereichen erforderlich. Die Fähigkeit didaktisch richtig zu formulieren, Kenntnisse von Multimedia und Erfahrung mit der Autorensoftware sind für ein Gesamtkonzept notwendig.

Die Ausführung muss alle Faktoren berücksichtigen und auf die Zielgruppe und das Bildungskonzept abgestimmt werden.

### 3.6.1 Lernziele

Im Lernziel ist aufgezeigt wie am Ende eines Lernvorganges das Lernergebnis des Lernalers sein soll. Mit einer Lernsoftware kann prinzipiell jede Art von Wissen und Information vermittelt werden. Bei der Planung der Lernsoftware muss das Lernziel berücksichtigt und definiert werden. [Sch04 S. 200]

Je nach dem Ergebnis legt ein Lernziel den Inhalt und das Verhalten fest. Im Normalfall besteht ein Lernziel aus zwei Teilen.

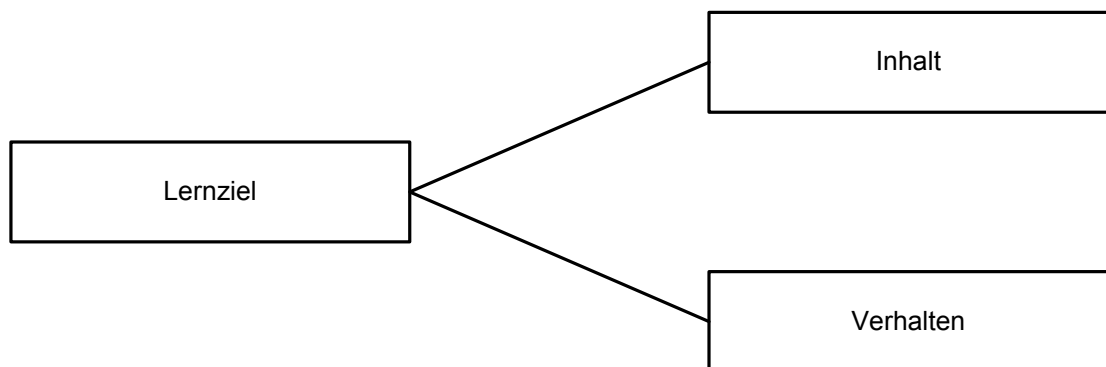


Abbildung 3.2: Teil des Lernziels [Sch04 S. 200]

Es wird in folgende Lernziele unterschieden:

- Kognitive Lernziele  
Lernen von Faktenwissen kann durch Auswendiglernen erreicht werden
- Affektive Lernziele  
Hier spricht man von der Veränderung von persönlichen Ansichten und Handlungsweisen durch Entdeckung und Erfahrungsbildung
- Psychomotorische Lernziele  
Darunter versteht man das Erlernen von Bewegungsabläufen und manuellen Fähigkeiten

### 3.6.2 Lernarten

Der Lerner setzt sich mit den Lerninhalten auseinander und soll das Erlernte verstehen und in die Praxis umsetzen können.

- Selbstgesteuertes Lernen  
Der Lernende bestimmt selbst wie lange, in welchem Umfang, für welches Ziel und innerhalb welcher Zeit er lernt.
- Handlungsorientiertes Lernen  
Der Lerner muss während des Lernens Handlungen setzen die von der Software vorgegeben sind, er kommuniziert mit dem System und bekommt ihn unterstützende Rückmeldungen.

Die Modelle können miteinander kombiniert oder einzeln eingesetzt werden.

## 3.7 E – Learning im Erwachsenenbereich

Seit einigen Jahren erfährt das Lernen im Erwachsenenalter eine neue Aufmerksamkeit. Zu diesem Interesse trägt nicht nur die zunehmende Hinwendung zum lebenslangen Lernen bei, sondern auch der vielfältig diskutierte demographische Wandel sowie die damit einhergehenden gesellschaftlichen und ökonomischen Veränderungsprozesse. Aufgrund dieser Entwicklung sind künftig ältere Dienstnehmer vom Arbeitsmarkt nicht mehr wegzudenken, sie werden zu einem wesentlichen Teil der erwerbsfähigen Bevölkerung.

In der Forschungsarbeit wird der Frage nachgegangen, wie Erwachsene ab dem mittleren Lebensalter lernen und durch welche Faktoren ihr Lern- und Weiterbildungsverhalten beeinflusst wird. Im Zusammenhang damit werden nicht nur die aktuellen Lern- und Weiterbildungssituationen von Erwachsenen im Kontext der Erwerbsarbeit analysiert, sondern auch didaktische Handlungsmöglichkeiten und Leitprinzipien für die Weiterbildung abgeleitet.

Durch die veränderte Situation am Arbeitsmarkt und durch die Notwendigkeit sich laufend neues Wissen anzueignen, sogenanntes "Lebenslanges Lernen", um seinen Arbeitsplatz nicht zu gefährden bzw. zu erhalten oder auch sein Image bei Bekannten, Kindern und Kollegen aufzubessern, ist heute E - Learning im Erwachsenenbereich nicht mehr wegzudenken. [Nis98 S. 10]

## 4 Software Typologie

Die Unterteilung in verschiedene Typen ist notwendig um eine Lern- bzw. Bildungssoftware bewerten oder beurteilen zu können. Eine Typologie geht von einem vorliegenden Schema aus, nach dem eine Software eingeordnet werden kann. Eine Kategorisierung von Bildungssoftware sollte nach rein pädagogischen Standpunkten erfolgen, tatsächlich wird eine Einteilung in rein technische Merkmale vorgenommen. [Bau99 S. 138]

In den meisten Fällen sind die Softwareprodukte eine Mischung aus den nachfolgend beschriebenen Eigenschaften.

Dieses Kapitel basiert im Wesentlichen auf den Arbeiten von Baumgartner & Payr.

### 4.1 Präsentation- und Visualisierungssoftware

Unter Präsentation wurde früher nur die Bereitstellung einer Bildschirmseite, bestehend aus nur Text und keiner Grafik, verstanden. Heutige Anwendungen haben aufgrund von modernen Designs wieder einen fixen Platz als Bildungssoftware und durchaus ihre Berechtigung: [Bau99 S. 144]

- als Visualisierungssoftware die komplexe Gebilde und Vorgänge modelliert
- als Multimediasoftware, d. h. eine Präsentationstechnik die über Text und Grafik hinausgeht
- als Hypertext, sofern dieser keine aktive Umgestaltung durch den Benutzer vorsieht

Eine Präsentation ist überall dort sinnvoll wo herkömmliche Medien wie z. B. der Papierdruck die Möglichkeit der Veranschaulichung einschränken. Softwarebeispiel ist die Darstellung von Modellen und Formen, wo eine verbale Beschreibung nicht zielführend wäre, aber eine Grafik sehr wohl selbsterklärend ist, nach dem Motto "Ein Bild sagt mehr als tausend Worte".

Visualisierungsprogramme werden nicht nur für Bildungssoftware eingesetzt sondern sehr viele technische Anlagen bis hin zu ganzen Fabriken werden über Leitsysteme mit

Visualisierungen betrieben. Dabei wird sehr viel Wert gelegt, dass der Anwender aufgrund des Visualisierungsbildes den Prozessablauf leichter versteht und verfolgen kann.

#### 4.1.1 Didaktische Konzepte

Prinzipiell verwendet jede Software auf irgendeine Art und Weise den Bildschirm um Inhalte zu präsentieren. Gerade die Präsentation von Inhalten und Informationen ist eine Tatsache die in jeder Bildungssoftware eine Rolle spielt. Die Parameter einer Simulation müssen ebenso dargestellt werden wie das Szenario eines Spiels oder die Objekte einer Mikrowelt. Daher hat die Übereinstimmung von mentalen Modellen und Manipulationsmöglichkeiten große Bedeutung für den Aufbau adäquater mentaler Modelle.

Die Darstellung am Bildschirm soll möglichst der Realität entsprechen, es sollen nicht andere Bilder dargestellt werden. WYSIWYG<sup>3</sup> ist der Fachausdruck dafür, dass die Anzeige dem entspricht was man wirklich weitergeben möchte.

Eine Charaktereigenschaft der Präsentationssoftware ist die Beschränkung der Interaktion lediglich auf die Steuerung des Programms. Dagegen findet die didaktische Interaktion, das heißt die inhaltliche Transformation der Darstellung, zu kognitiven Modellen außerhalb der Software statt bzw. wird von anderen Programmmodulen übernommen. Da die Software wesentlich flexibler verwendet werden kann, ergibt sich dadurch kein Nachteil. Es bleibt der Fantasie des Lehrpersonals vorbehalten wie diese die Lernsoftware, wobei diese Präsentierungssoftware für das Aneignen von Faktenwissen dient, im Unterricht einsetzt.

Der flexible Ablauf einer Präsentationssoftware erweist sich hier als Vorteil. Der Benutzer kann die Abfolge der Programmanwendung frei wählen. Das bedeutet er kann mit jedem Kapitel beginnen und ihm wird kein starrer Ablauf aufgezwungen. [Bau99 S. 153]

---

<sup>3</sup> What You See Is What You Get (Was der Bildschirm anzeigt entspricht der Realität)



## 4.2 Drill- und Testsoftware

Der in der Literatur häufiger verwendete Name für diesen Softwaretyp ist "Drill & Practice". Nach Baumgartner und Payr ist die Bezeichnung "Practice" unglücklich gewählt, da der Begriff Praxis viel zu umfassend ist für die damit gemeinte Software. Unter der gewählten Bezeichnung "Drill & Test" wird jene Bildungssoftware verstanden die zur Festigung von bereits erlernten Inhalten dienen soll.

Typische Funktion dieser Software ist der Durchlauf von der Routine "Übungsaufgabe – Eingabe einer Antwort – Rückmeldung". Viele der früheren Lernprogramme waren auf rein behavioristischem Modell aufgebaut und kamen pädagogisch in Verruf. Es sollte auf keinen Fall die Notwendigkeit des Übens übersehen werden, zum Erlernen von körperlichen Fähigkeiten, z. B. das Erlernen von Klavierspielen, und auch kognitiven Fertigkeiten.

Die am Markt häufigste Lernsoftware ist vom Typ "Drill & Test" da diese sehr einfach zu realisieren ist. Dieser Softwaretyp ist aber auch dafür verantwortlich, dass computerunterstütztes Lernen im pädagogischen Bereich noch keinen Einzug gehalten hat. Viele von diesen am Markt befindlichen Programmen sind leider immer noch von minderer Qualität. [Bau99 S. 127]

Die auf dem Markt meist vorkommende Lernsoftware dieses Typus hat mehr mit der geringen technischen Komplexität denn mit pädagogischen Erwägungen zu tun. Gerade die hier angewendeten Interaktionen lassen sich sehr einfach programmieren und mit geringem Aufwand Erfolgskontrollen einbauen. [Bau99 S. 154]

## 4.3 Tutorensysteme

Die Idealform von einem Tutorensystem ist der Zustand eines einzelnen Studenten mit einem Privatlehrer. Es werden Regeln und ihre Anwendung vermittelt, auch prozedurales Wissen aber kein Faktenwissen. Der Computer übernimmt die Rolle des Tutors der Inhalte weitergibt und möglicherweise überprüft.

Von der Konzeption her handelt es sich um Software mit einem hohen didaktischen Anspruch. Die Merkmale einer Präsentationssoftware und Drill- und Testsoftware sind hierbei vertreten. Tutorielle Systeme haben wegen der Kombination der beiden Systeme eine große Bedeutung erlangt.

Der typische Einsatz von Tutorensystemen ist wenn dem Lernenden ein Problem gestellt wird wo das Lernziel das Verfahren zur Lösung des Problems ist. Je umfangreicher eine Problemstellung ist, desto komplexer und vielfältiger werden die möglichen Lösungswege. Übliche einfache Tutorensysteme mit fest programmierten Regeln und Verfahren sind damit überfordert. Ein weiterer Schritt ist der Einsatz von sogenannten "Intelligenten Tutorensystemen" die auf die Forschung von "Künstlicher Intelligenz" aufbauen. Diese müssen nicht nur Wissen zur inhaltlichen Seite einer Aufgabe beinhalten sondern auch Wissen über Lernen und Lehren aufweisen. Dabei werden die vom Lerner durchgeführten Aktionen aufgezeichnet und auch ausgewertet, um das Wissensmanko bzw. auch das Wissen des Lernenden zu ermitteln und damit die Aufgabenstellung dementsprechend anzupassen.

Dem Idealtypus "Tutorensystem" können nur die intelligenten Tutorensysteme entsprechen. Der Aufwand für die Entwicklung eines solch intelligenten Systems ist extrem hoch, da vom Programmierer sämtliche Lösungsarten und ebenso die unterschiedliche Lernart von verschiedenen Studenten berücksichtigt werden müssen. Aus diesem Grund ist diese Version von Lernprogramm nur in der Forschung zu finden. Kommerzielle Anwendungen sind nur sehr gering vorhanden.

## 4.4 Simulationen

Simulationsprogramme sollen komplexe Sachverhalte und Situationen auf jedem Gebiet, z. B. naturwissenschaftliche, ökologische, technische oder soziale Bereiche, darstellen bzw. veranschaulichen. Die Abbildung erfolgt auf mathematisch definierten und parametrisierten Modellen mit einer sehr hohen Komplexität.

Durch Verändern von definierten Parametern soll der Anwender zur Lösung einer Aufgabe kommen. Da sich die Parameter aber gegenseitig beeinflussen ist es die Aufgabe des Studenten diese Wechselwirkung aufzuspüren und die für das System optimale Einstellung zu finden.

Charakteristisch für eine Simulation ist die nicht statische und nicht determinierbare Ausgangssituation einer Handlung. Das System ändert sich ständig was eine schrittweise Handlung nach erlernten Regeln ausschließt. Das Lernziel ist die Bewältigung komplexer Situationen auf dem Niveau von Gewandtheit und Expertentum. [Bau99 S. 162]

Am Markt ist dieser Softwaretyp häufig vorhanden, meist in Form von Spielen, wie Planspiele aller Art (Wirtschaft, Unternehmensführung, Militär usw.) und tatsächlichen Spielen für Kinder und Jugendliche, die mit Spielkonsolen einen großen Erfolg für die Hersteller gebracht haben. (SimCity, Sims, SimEarth, usw.)

#### **4.4.1 Didaktische Konzepte**

Wegen der möglichen hohen Komplexität einer Simulation ist es für den Anwender oft viel zu schwierig überhaupt mit der Bedienung einer Software zu beginnen. Es ist eine Vielzahl von Parametern einzustellen, dabei jeweils die Reaktion zu beobachten und diesen Vorgang sehr oft zu wiederholen bis der Idealzustand erreicht wird. Um die Anwender von Haus aus nicht abzuschrecken wird sehr oft eine Ausgangssituation vorgegeben und damit die Komplexität reduziert, bei zusätzlicher Verringerung des Parameterumfangs wird ebenfalls der Einstieg erleichtert.

Wird bei der Entwicklung einer Simulation der Parametersatz stark reduziert so wird meist die Situation, die durch die Simulation demonstriert wird, verfälscht. In den meisten Fällen ist diese kleine Abweichung nicht relevant, da die Situation noch ausreichend dargestellt werden kann. Ein Problem ist, fällt der Parametersatz zu gering aus, kann das Ergebnis leicht vorhergesagt werden. Wird eine wesentlich komplexere Modellierung programmiert so kann eine Situation nicht erkannt und vorausgesagt bzw. keine Regel erkannt werden.

Mit dieser Software können unterschiedliche Ziele erreicht werden. Während einer Simulation können positive, negative und globale Ziele verfolgt werden. Weiters ist zu unterscheiden zwischen unklaren, klaren, einfachen, impliziten und expliziten Zielen.

### **4.5 Mikrowelten und Modellbildung**

Eine Weiterentwicklung der Simulation ist bei den Mikrowelten zu finden. Anstatt eine bestimmte Situation einzustellen wird hier der Lernende vor die Aufgabe gestellt die eigentliche Situation oder Welt erst zu erschaffen. Der Lernende muss seine eigenen Ziele definieren, verschiedene veränderbare Modellannahmen bilden, eigene Modelle entwickeln und Welten konstruieren.

Am Beginn ist es nötig dem Lernenden inhaltliche Impulse und Hilfeleistungen zu geben, um ihn nicht zu überfordern. Dem Lerner wird nicht mitgeteilt welche Maßnahmen

er ergreifen soll bzw. was er zu tun hat. Er soll selbständig Denk- und Arbeitsprozesse entwickeln.

## 4.6 Kriterien für Lernprogramme

Für die Bewertung von Lernprogrammen gibt es sehr viele Kriterien, nachfolgend sind nur die wichtigsten dargestellt.

Ein Lernprogramm soll die Anforderung und Problemstellung aus dem Alltagsleben darstellen, komplexes Wissen vermitteln und dem Lerner die Möglichkeit einer Eigeninitiative bieten.

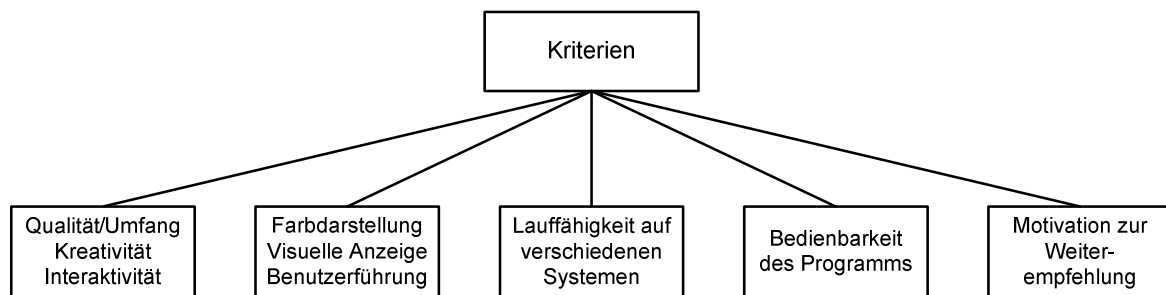


Abbildung 4.1: Kriterien der Lernsoftware nach vorgegebenen Anforderungskriterien  
[Naz04 S. 14]

## 5 Konzeption

### 5.1 Einleitung

Für die Konzeption von Lernsoftware gibt es prinzipiell zwei Vorgehensweisen:

- Rein intuitives Vorgehen
- Systematisches Vorgehen

Erfolgreiche rein intuitiv entwickelte Lernsoftware ist eher selten obwohl sehr lange nach dieser Methode vorgegangen wurde. Es kam aber zu einer Vermischung von beiden Vorgehensweisen. Für die Konzeption und Umsetzung von E - Learning-Angeboten sind einerseits didaktische und gestalterische Aspekte zu berücksichtigen, andererseits Kenntnisse in der Informatik für die Erstellung von Software erforderlich. Das systematische Vorgehen stellt sicher, dass während des Entwicklungsprozesses alle Perspektiven beachtet werden.

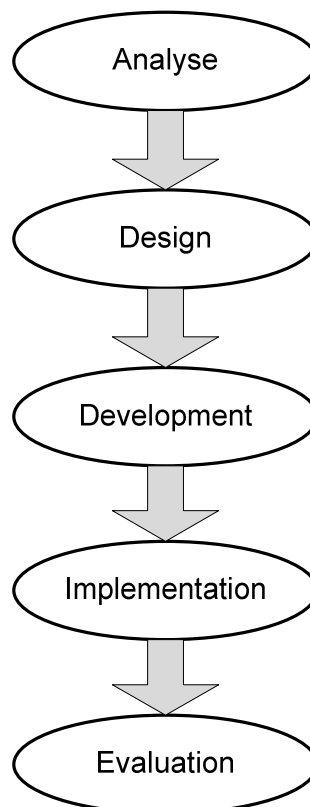


Abbildung 5.1: Instructional System Design: ADDIE Modell [Kon]

Eine mögliche Vorgehensweise zur systematischen Entwicklung, Planung und Konzeption von E - Learning-Angeboten ist nach dem "Instructional System Modell". Die Grundidee dieses Modells ist eine systematische Koordination der Entwicklungsphase, Analyse, Design, Entwicklung, Implementierung und Evaluation.

## **5.2 Thema der Lernsoftware**

Nach einer Einarbeitung in die Grundlagen von E – Learning konnte in das eigentliche Thema der Arbeit übergegangen werden - Analysen zum Tutorium Digitale Signalverarbeitung. Ein beachtenswerter Aspekt für die Wahl dieses Themas war die Tatsache, dass die Theorie in der Vorlesung an viele Studenten vermittelt wird, aber die Möglichkeit nicht gegeben ist, diese nochmals nachschlagen zu können. Als besondere Hilfe soll es den Fernstudenten dienen, die nur an einem Wochenende eine Vorlesung zu diesem sehr anspruchsvollen Fachgebiet haben. Die Hilfestellung des Tutoriums ist hauptsächlich auf Beispiele mit zugehörigen Lösungen aufgebaut, neben den eigenen Mitschriften und dem Skriptum können sich die Studenten so auf die Klausur vorbereiten. Sollten Mankos in der Theorie vorhanden sein so können diese mittels Lexikon aufgefrischt werden.

## **5.3 Aufbau des Programms**

Nach den Grundlagen für eine Lernsoftware, Programmkonzept und der Software Topologie geht es um das Lernsystem im Detail, aus welchen Elementen es aufgebaut werden und welche Konzepte und Strukturmodelle zur Verfügung stehen sollen, um es zu einer Gesamtheit zusammenzuführen.

## **5.4 Lernkonzept**

Die Entwicklung eines Lernkonzepts und der Aufbau der Programmstruktur ist die Voraussetzung für die Planung und Gestaltung einer Lernsoftware.

### 5.4.1 Zielgruppe

Bei Studenten im Normalstudium ist der Wissensstand aufgrund des aufbauenden Unterrichts in etwa auf dem gleichen Level. Digitale Signal- und Systemtheorie wird erst im höheren Semester unterrichtet, wodurch man von der Annahme ausgeht, dass die Studenten die Grundlagen, wie z. B. Mathematik, intus haben. Bei den Fernstudenten sieht das ein wenig anders aus. Sie sind längere Zeit vom Unterrichtsgeschehen und Lernen weg und haben nicht mehr die Übung und bestimmtes vorausgesetztes Wissen für dieses Studium, besonders die Grundlagen der Mathematik, parat. Für die Normalstudenten wird die Lernsoftware eine zusätzliche aber nicht besonders notwendige Ergänzung zu den Vorlesungen sein. Bei den Fernstudenten die nur eine Vorlesung haben ist die Lernsoftware insbesondere als Übungsgrundlage für die Klausur sehr wichtig.

Darum kann man als Hauptzielgruppe für das Tutorium die Fernstudenten betrachten da der Lernort frei wählbar ist und es auch nirgends bestimmt ist, wie lange der Anwender mit dem Programm arbeitet. Diese Dinge liegen bei der Eigenverantwortung und Disziplin des Benutzers. Da das Programm außerhalb einer Vorlesung eingesetzt wird gibt es auch keine Notwendigkeit einer Betreuung. Das bedingt jedoch eine sehr offene Struktur der Software.

Damit eine gute Lernmotivation gegeben ist müssen folgende Anforderungen erfüllt sein:

- Einfache und übersichtliche Navigation
- Ansprechende Präsentation der Inhalte
- Gute und anspruchsvolle Beispiele (klausurnahe)
- Erfolgserlebnisse

### 5.4.2 Bedienung des Programms

In einer Einleitung wird die allgemeine Einführung und Handhabung des Programms dargestellt. Die komplette Navigation durch die Software soll sehr einfach und übersichtlich aufgebaut sein. Die Aufmerksamkeit des Anwenders gebührt dem Inhalt des Lernprogramms und nicht der Steuerung desselben. Damit ist es erforderlich eine geordnete Benutzerführung zu installieren.

### 5.4.3 Visuelles Konzept

Die Oberfläche sollte ansprechend sein und sehr viel Raum für die Darstellung des Lernstoffes lassen. Für die Navigation ist ein fixer Rahmen vorgesehen, wobei die Steuerung in den einzelnen Kapiteln in die Oberfläche integriert wird, wodurch sehr viel Freiraum für die Darstellungsoberfläche bleibt.

### 5.4.4 Lerninhalte und Lernziele

Als Lerninhalt soll das Tutorium dazu dienen um die theoretischen Kenntnisse aus der Vorlesung nachschlagen und vertiefen zu können. Die Kapitelaufteilung ist analog der in der Vorlesung verwendeten Theorie.

Der Hauptteil liegt bei den Übungen, wobei von jedem Kapitel Beispiele für die Festigung der Theorie vorhanden sind. Begleitend zu den Beispielen können die Berechnungen mit einer Demosoftware überprüft und dargestellt werden.

Primäres Lernziel ist es, die Kenntnisse soweit zu vertiefen, dass die Beispiele der Digitalen Signalverarbeitung problemlos berechnet werden können. Um das Lernkonzept inhaltlich zu strukturieren werden Teilziele festgelegt.

- Teilziel 1: Analog-Digital-Umsetzung
- Teilziel 2: Analyse digitaler Filter
- Teilziel 3: Entwurf digitaler Filter
- Teilziel 4: Signal- und Systemanalyse

Von einer geeigneten Lernstrategie ist es abhängig diese Lernziele zu erreichen.

### 5.4.5 Lernstrategie

Da die Lernsoftware als begleitendes Lehrmaterial zu der Vorlesung eingesetzt wird ist die Lernstrategie nach den psychologischen Aspekten und der Softwaretypologie als nicht sehr hoch anzusetzen. Die Aufgabe erfolgt nicht im Expertentum sondern auf der Ebene Visualisierung und Drill- und Testsoftware. Da das Tutorium für Selbststudium erfolgen soll und es die Lösungen inklusive der einzelnen Schritte des Lösungsweges bereitstellt, ist es eher im einfachen Bereich eines Tutoriums angesiedelt.



Daraus ergibt sich die Art zu lernen, als Drill und Test der Übungsbeispiele, was bedeutet üben und nochmals üben.

#### 5.4.6 Lernwege und Erfolgskontrolle

Üblicherweise gibt es zwei Möglichkeiten wie die Lernwege organisiert werden können:

- Offener Lernwegaufbau
- Vorgegebener strukturierter Lernwegaufbau

Zu berücksichtigen ist, soll der Inhalt dem Anwender in einer bestimmten, meist logischen Reihenfolge dargestellt werden oder wird ihm ein freier Zugriff auf alle Inhalte gewährt.

Durch den strukturierten Lernweg wird ein schrittweises Abarbeiten der einzelnen Lektionen erzwungen, wodurch der Anwender aber eingeeengt und möglicherweise demotiviert wird.

Die offene Struktur gestattet dem Anwender freien Zugriff, egal an welcher Stelle des Programms er sich gerade befindet und ob er die aktuelle Aufgabe fertiggestellt hat. Er kann den Lernweg selbst bestimmen und damit seinen eigenen Erfordernissen entsprechen. Dafür ist natürlich Selbstdisziplin gefordert, da der Lernende sonst den Überblick verliert und damit auch die Motivation. [Bru02 S. 69]

Das angestrebte Lernsystem setzt selbstgesteuertes Lernen voraus und aus diesem Grund hat der Anwender freien Zugriff auf die Lerneinheiten und Übungen. Es ist nicht erforderlich, dass der Benutzer die Aufgaben nach einer logischen Reihenfolge abhandelt, mit welcher Übung er beginnt bzw. mit welcher Übung er fortsetzt ist ihm selbst überlassen.

In einer Lernsoftware wird meist die Lernerfolgskontrolle als Art Test durchgeführt, wobei die Ergebnisse einzugeben sind. Hier soll ein ganz anderer Weg beschritten werden. Für die Aufgabe wird zwar eine Lösung mit Erklärung angeboten aber ob die Aufgabe selbst erfüllt wird liegt auch in der Eigenverantwortung des Nutzers. Da keine Lösungseingabe erfolgt erspart man sich auch die Peinlichkeit von einer Maschine gelobt zu werden. (Das Ergebnis könnte auch falsch sein). Beispiel dafür ist wenn am Bildschirm erscheint "Aber das haben Sie gut gemacht". [Bau99 S. 150]

### 5.4.7 Darstellungskonzept

Die Benutzeroberfläche ist die Verbindung zwischen dem Lernenden und der Software. Das graphische Design ist enorm wichtig, da dies der erste Kontakt zu dem Nutzer ist. Der erste Eindruck der Darstellung der Benutzeroberfläche soll auf alle Fälle positiv sein und den Studierenden dazu animieren mehr davon sehen zu wollen. Der Nutzer soll sich in der Lernumgebung wohl fühlen, was durch den richtigen Einsatz von Farben, Formen und Grafiken erzielt wird. Diese sollen den Lernprozess nicht behindern sondern im Gegenteil lernwirksam sein. Die Darstellung soll ästhetisch und gleichzeitig effektiv sein. [Bal97 S. 16]. Natürlich ist man dabei auch an den Lerninhalt gebunden. Ebenso wichtig ist es eine vernünftige und übersichtliche Raumaufteilung zu schaffen. Der gesamte Aufbau soll durchgängig über das ganze Projekt sein.

Das Hauptmenü soll eine grafische Oberfläche bekommen wobei die Navigation durch Schaltflächen abgebildet wird und die Menüführung während der Lernsitzung immer sichtbar bleibt. Da es sich bei der Software um selbstgesteuertes Lernen handelt muss eine geeignete Navigationsstruktur gewählt werden.

Man unterscheidet folgende Strukturen:

- Hierarchische Struktur
- Lineare Struktur
- Vernetzte Struktur

Da es sich um einen offenen Lernwegaufbau handelt ist es sinnvoll die vernetzte Struktur für die Navigation zu wählen. Für den Anwender soll die Orientierung sehr einfach sein und er soll jederzeit wissen wo er sich gerade befindet. [Bru02 S. 70]

## 5.5 Autorensysteme

### 5.5.1 Anforderungen

Ein Autorensystem unterstützt den Autor eines tutoriellen Lernprogramms bei der Erstellung, Gestaltung, der Verzweigung und Rückmeldung ohne eine Programmiersprache beherrschen zu müssen. Daraus ergeben sich bestimmte Anforderungen an das System: [Sch01 S. 33]

- Die Benutzung soll möglichst einfach und für die Bedienung sollte kein Programmexperte erforderlich sein
- Das Lernprogramm soll trotz einer Struktur variabel und flexibel sein
- Das Lernprogramm soll effektiv sein und mit möglichst geringem Zeit- und Arbeitsaufwand erstellt werden können

Dadurch ergibt sich, dass die Programmierung eines Lernprogramms so weit als möglich mit grafisch interaktiven Hilfsmitteln durchgeführt werden kann um Nicht-Programmierern die Erstellung interaktiver multimedialer Anwendungen zu ermöglichen. Grafisch interaktiv bedeutet in diesem Zusammenhang die Nutzung der Maus und direkt manipulativer Interaktionsformen, wie Cut & Paste<sup>4</sup> und Drag & Drop<sup>5</sup> Mechanismen unterstützt durch geeignete Metapher, anstelle der Notwendigkeit einer textuellen Programmierung.

Viele Autorensysteme stellen eigene Werkzeuge für die Erstellung von Grafiken, Audio, Video und Animationen zur Verfügung. Es sollte aber auch möglich sein alle gängigen Formate und Objekte zu importieren.

Die Hauptaufgabe des Autorensystems liegt darin, die Informationsobjekte miteinander zu verbinden und interaktive Elemente zu erstellen. Es gibt aufgrund der Definition der zeitlichen Beziehungen und Navigationsbeziehungen drei Klassen bei den Autorensystemen:

- Frame-basierte Autorensysteme
- Timeline-basierte Autorensysteme
- Flowchart-basierte Autorensysteme

Bei den frame<sup>6</sup>-basierten Autorensystemen werden die Objekte auf Flächen angeordnet, die als Seiten, Fenster, Frames oder auch als Dias bezeichnet werden und im Prinzip einen Bildschirm repräsentieren, wie ihn der Benutzer während einer Präsentation für einen bestimmten Zeitraum zu sehen bekommt. Der Nutzer kann die Reihenfolge der Darstellung dieser Flächen durch Interaktion beeinflussen.

---

<sup>4</sup> Englisch für: ausschneiden und einfügen

<sup>5</sup> Englisch für: ziehen und ablegen

<sup>6</sup> Englisch für: Rahmen

In den timeline<sup>7</sup>-basierten Autorensystemen werden die Informationsobjekte symbolisch auf einer Zeitachse angeordnet, die den zeitlichen Verlauf der Anwendung festlegt. Interaktionen können der Zeitleiste zugeordnet werden und bewirken meist einen Zeitsprung.

Flowchart<sup>8</sup>-basierte Autorensysteme sind dadurch gekennzeichnet, dass die Informationsobjekte, durch Ikonen bzw. Miniaturen dargestellt, in Diagrammen durch Kanten miteinander verbunden werden, die den möglichen Verlauf der Präsentation widerspiegeln. Gehen von einem Objekt mehrere Kanten aus so wird die während des Ablaufs der Anwendung tatsächlich verwendete Kante durch Interaktion bestimmt.

Weitere Anforderungen an Autorensysteme sind, dass eine gerade in der Entwicklung befindliche Anwendung jederzeit getestet werden kann, sowie die Anbindung an externe Programme unterstützt wird. [Hyd00 S. 32]

## 5.5.2 Klassifikation

Auf Grundlage von Metaphern lassen sich Autorensysteme klassifizieren. Eine solche Klassifizierung sagt nicht viel über Vor- und Nachteile des jeweiligen Autorensystems aus.

- Buch-Seiten-Metapher und Stapel-Karten-Metapher

Das Lernangebot wird wie ein Buch oder ein Kartenstapel ausgeführt. Die Darstellung einer Bildschirmseite repräsentiert eine Buchseite oder Karte. Wenn diese verknüpft werden entsteht die Lernsoftware. Während die Verknüpfung bei Systemen die die Stapel-Karten-Metapher nutzen linear erfolgt, können die Buchseiten auch vernetzt verknüpft sein.

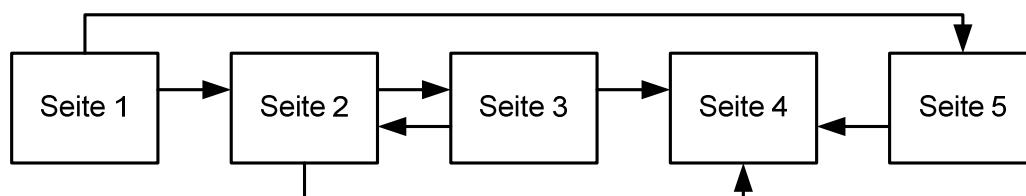


Abbildung 5.2: Verknüpfung der Buchseiten in einem System, das die Buchseiten-Metapher nutzt.

<sup>7</sup> Englisch für: Zeitlinie

<sup>8</sup> Englisch für: Ablaufplan

Die bekanntesten Autorensysteme, die mit der Buch-Seiten-Metapher arbeiten, sind Toolbook und Mediator. Um allerdings vielseitigere und komplexere Lernangebote zu erstellen ist in den Systemen eine Scriptsprache implementiert. Diese ist zwar einfacher zu erlernen als Programmiersprachen wie Java oder Perl, stellt aber für Laien eine nicht unerhebliche Hürde dar. [Bol S. 7]

- Zeitleisten-Metapher (Film-Metapher)

Bei diesen Autorensystemen wird der zeitliche Ablauf der Anwendung mit einer Zeitleiste festgelegt. In dieser Zeitleiste werden die einzelnen Informationselemente, wie Text, Bild, Audio etc. abgelegt. Damit kein fixierter Ablauf wie bei einem Film entsteht sind entsprechende Navigationselemente angegeben sodass auch Zeitsprünge aufgezeigt werden können. Man kann sich das Lernangebot als Film vorstellen, der aus zahlreichen Filmsequenzen oder Kurzfilmen zusammengesetzt ist. Welche Reihenfolge und welchen Teil des Filmes der Nutzer anwählt kann durch Interaktion gesteuert werden. Bekannteste Vertreter sind die Produkte Director und Flash von Macromedia. Diese haben noch zusätzlich eine eigene Programmiersprache, Lingo, bzw. Actionscript. [Bol S. 7]

- Flussdiagramm-Metapher

Autorensysteme, die nach der Flussdiagramm-Metapher angelegt sind, visualisieren und ordnen die Lernpfade über Icons. Die Icons sind durch Kanten wie in einem Flussdiagramm miteinander verbunden und legen den möglichen Verlauf der Präsentation, in Abhängigkeit von der Navigationsinteraktion des Users fest. Sie werden hauptsächlich für statische Multimedia Anwendungen genutzt.

- Script-Metapher

Ohne eigene Scriptsprache stoßen Autorensysteme in den Punkten Flexibilität und Leistungsfähigkeit schnell an ihre Grenzen. Mit steigender Flexibilität wächst die Zahl an Entscheidungsmöglichkeiten, die dem Autor gewährt werden müssen, nahezu exponentiell an. Allein wegen der hohen Zahl an Alternativmöglichkeiten können diese nicht alle graphisch-interaktiv modelliert und dem Autor per Drag & Drop zur Verfügung gestellt werden. Würde keine Scriptsprache zur Verfügung stehen würde bei der Erstellung einer komplexen Lernsoftware der Aufbau unübersichtlich und benutzerunfreundlich werden. Mit Hilfe der Scriptsprachen lassen sich externe Programme ansprechen, Daten mit anderen Programmen austauschen, Variablen definieren und umfangreiche

Kontrollstrukturen integrieren. Um dies zu erreichen muss sich der Autor aber in die Scriptsprache einarbeiten.

### 5.5.3 Auswahl

Es ist eine große Anzahl an Autorensystemen am Markt. Welches tatsächlich das geeignetste ist kann nicht pauschal beantwortet werden. Vor der Auswahl sollte die eigentliche Anforderung an das System ermittelt werden.

- Genauer Einsatzbereich
- Welche Plattform soll dafür verwendet werden (Entwicklung und Anwendung)
- Sind externe Programme einzubinden
- Wie sind die Programmierkenntnisse des Entwicklers
- Welche Medien werden eingebunden (Video, Audio ....)
- Allgemeine Anforderungen (Preis)

Aufgrund dieser genannten Anforderungen sollte ein Autorensystem für die Anwendung ausgesucht werden. Bevor man ein Autorensystem kauft sollte anhand einer Demoversion getestet werden, ob man damit umgehen kann und ob alle Funktionen die benötigt werden auch zur Verfügung stehen.

Name	Beschreibung	Standard
Author42	Rapid Learning System, damit können auch Lernkurse für mobile Geräte erstellt werden. <a href="http://www.author42.de">www.author42.de</a>	SCORM
Adobe Authorware	Autorensystem von Macromedia, umfassende Funktionalitäten inkl. Dateiimport von Audio, Video, Animation und Powerpoint. Leichte Einbindung in LMS und Weiterverwendung von Nutzerdaten. <a href="http://www.adobe.com/products/authorware/">http://www.adobe.com/products/authorware/</a>	AICC SCORM
Adobe Flash	Entwicklungsumgebung von Adobe System zur Erstellung multimedialer, interaktiver Inhalte, der sogenannten Flash-Filme. Der Benutzer produziert mit dieser Software Dateien im proprietären SWF-Format. Bekannt und umgangssprachlich gemeint ist Flash als Flash Player, eine Softwarekomponente zum Betrachten dieser SWF-Dateien. <a href="http://www.adobe.com/eeurope/products/flash/">http://www.adobe.com/eeurope/products/flash/</a>	Flash HTML

Lectora 2008	Autorensystem mit Flash-Konvertierung, Multimedia-Bibliothek, Tools zur Befragung und Erstellung von Tests und Zertifikaten und Content-Schutz. Die Integration von verschiedenen Datenformaten ist möglich.  <a href="http://www.chemmedia.de/de/Produkte/Lectora_Autorensoftware.html">www.chemmedia.de/de/Produkte/Lectora_Autorensoftware.html</a>	SCORM AICC Flash HTML
Macromedia Director	Ausführliche Infos unter: <a href="http://lehrerfortbildung-bw.de/werkstatt/autoren/director">lehrerfortbildung-bw.de/werkstatt/autoren/director</a> <a href="http://www.adobe.com/de/products/director/">www.adobe.com/de/products/director/</a>	
Mediator	Seitenbasiertes Autorensystem auch für Einsteiger, mit dem sich neben WBTs auch andere Multimedia-Anwendungen erstellen lassen, z. B. Fotoalben und Websites.  Produktinfos beim Hersteller: <a href="http://www.matchware.com/ge/products/mediator/default.htm">www.matchware.com/ge/products/mediator/default.htm</a>	Flash, HTML

Tabelle 5.1: Übersicht einiger Autorensysteme

## 5.6 Untersuchte Software

In diesem Abschnitt werden die Autorensysteme die für die Erstellung des Tutoriums untersucht wurden ausführlicher dargestellt. Es wird auch erläutert aus welchem Grund das Lernprogramm mit dieser Software erstellt wurde.

### 5.6.1 MS Powerpoint

Powerpoint ist im Office Paket enthalten und steht sehr kostengünstig zur Verfügung. Eine entgeltfreie Version ist im Paket "Open Office" enthalten. Powerpoint ist ein nach der Buch-Seiten-Metapher aufgebautes Präsentationssystem die keine Scriptsprache enthält. Auf einer Masterseite kann ein Grundrahmen mit einer Hintergrundgrafik erstellt werden, welche dann nachfolgend auf allen Seiten zu sehen ist. Mit Hilfe von Buttons können zusätzlich entweder Grafiken oder auch Texte eingeblendet oder es kann auf die nächste Folie (Seite) gewechselt werden.

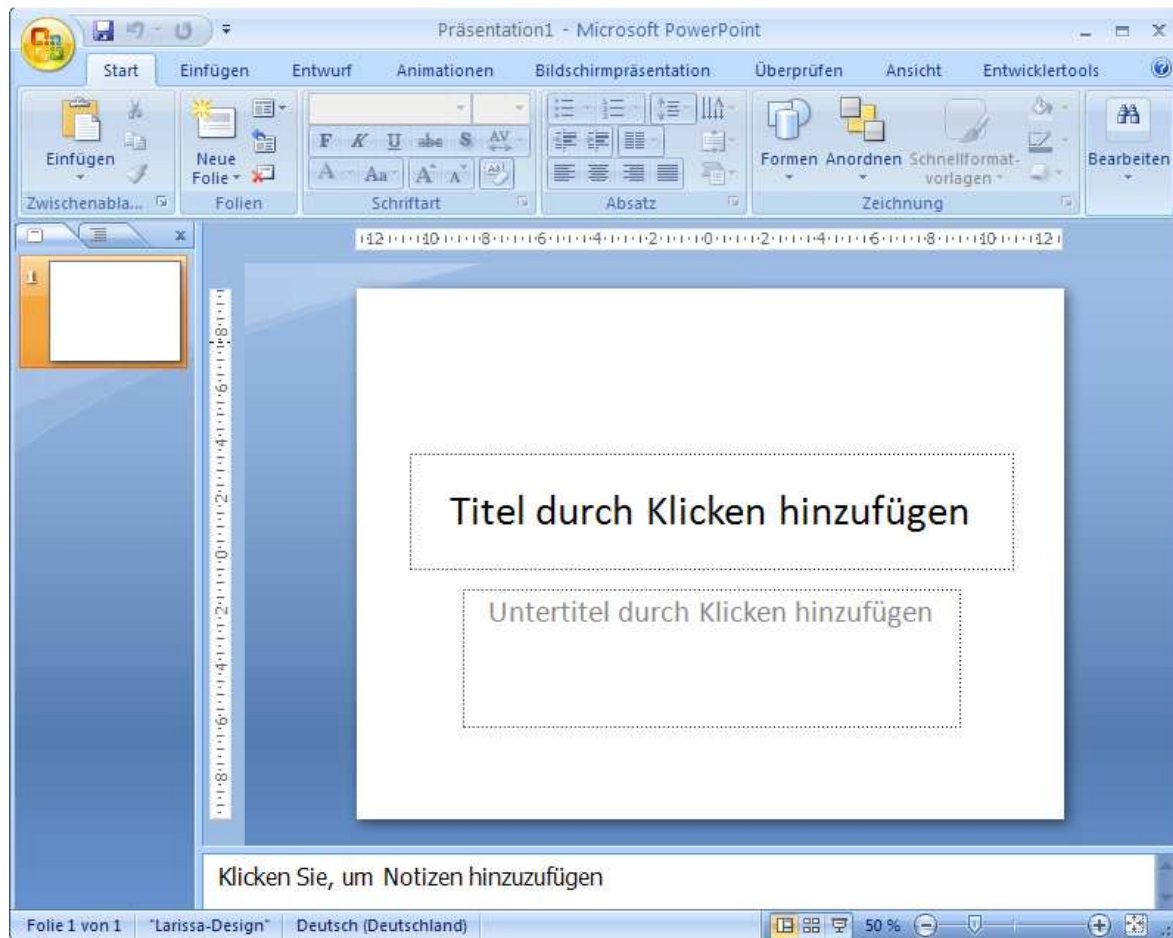


Abbildung 5.3: Benutzeroberfläche von Powerpoint

Der Ablauf kann auch über eine Zeitsteuerung erfolgen, der durch Interaktion von dem Anwender unterbrochen werden kann. Haupteinsatzgebiet von MS Powerpoint ist die Erstellung von Präsentationen zur Verwendung bei Vorträgen. Als Zielplattform ist nur die offline Version, direkt am Rechner, möglich. Eine Version für die Darstellung der Präsentation im Web ist nicht verfügbar und deswegen wurde die Software nicht weiter untersucht. [Mic10]

### 5.6.2 Adobe Flash

Für Testzwecke steht die Software 30 Tage gratis zur Verfügung. Danach muss man die Software kaufen, wenn damit nicht mehrere Anwendungen realisiert werden sollen ist der Preis für die Software sehr hoch.



Adobe Flash ist ein vektor- und frame-basiertes Authoring-Tool zur Erzeugung von "Flash-Filmen" im SWF-Format. Bei der Entwicklung von Flash-Anwendungen greifen die Autoren auf Dateien des Formats FLA zurück. Diese Quelldateien werden zum Einsatz auf Webservern in das SWF-Format kompiliert. Die kompilierten SWF-Dateien können mit dem PlugIn<sup>9</sup> "Flash-Player" dabei unter allen gängigen Internet-Browsern betrachtet werden. Das benötigte PlugIn der Flash-Player ist bei vielen Internetbenutzern installiert. Die geringe Größe des Players sorgt dafür, dass er trotz geringer Bandbreite in sehr kurzer Zeit aus dem Internet heruntergeladen werden kann.

Als Programmiersprache steht Actionscript zur Verfügung, die auch eine weitgehend konsistente Umsetzung des Konzepts der objektorientierten Programmierung ermöglicht. Die Arbeitsweise ist zeitleistenorientiert und mit Schaltflächen steuerbar, wodurch sich auch sogenannte Zeitsprünge ausführen lassen und ein Zugriff auf Datenbanken möglich ist.

Als Nachteile gelten, dass Flash keine "Open Source"<sup>10</sup> Software ist und der Anwender die gleiche Version von Flash-Player benötigt mit dem das Programm erstellt wird. Ältere Player unterstützen die Funktionen der neueren Flash-Versionen nicht. Flash-Seiten sind nicht speicherbar und können nicht durchsucht, gedruckt oder kopiert werden.

Nach der Testinstallation habe ich versucht eine kurze Sequenz eines Filmes zu erstellen um mich mit den Funktionen vertraut zu machen. Die Software ist sehr aufwendig und hat derart viele Funktionen, dass es sehr lange dauert bis man sich einen Überblick über die Funktionalitäten machen bzw. diese anwenden kann. Aus diesem Grund wurde die Software von mir nicht weiter getestet, da das Kennenlernen der Software länger dauert als die eigentliche Programmierung. Sollte wirklich nur von Personen verwendet werden, die mehrere Anwendungen programmieren, da sonst der Zeitaufwand für das Erlernen des Programms höher ist, als das Programmieren eines Autorensystems selbst. [Ado10]

---

<sup>9</sup> Ist ein Softwareprodukt das in ein anderes eingeklinkt wird und damit dessen Funktionen erweitert

<sup>10</sup> Open Source: offener Quellcode und bedeutet, dass dem Anwender der Quelltext der Software zur Verfügung gestellt wird

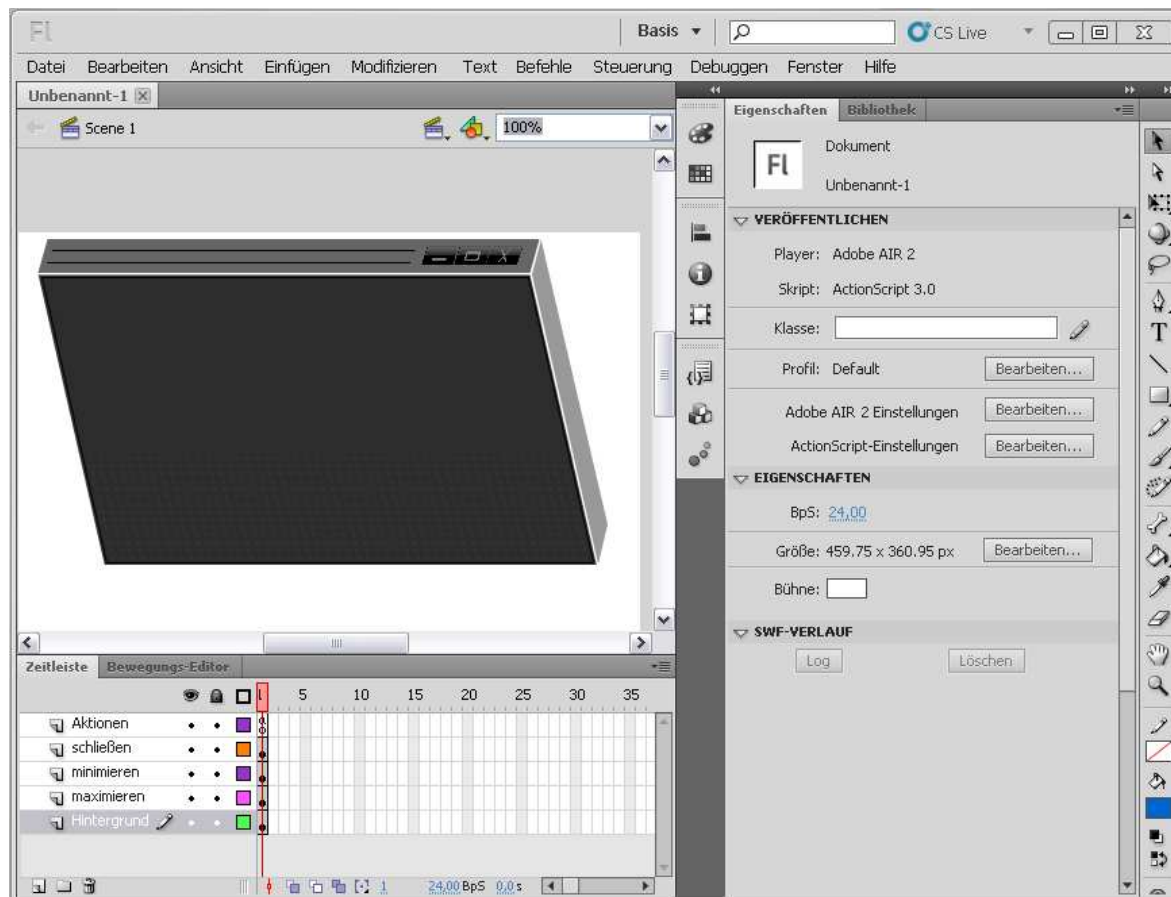


Abbildung 5.4: Benutzeroberfläche von Flash

### 5.6.3 Adobe Director

Adobe Director, früher Macromedia Director, ist eines der am meist verbreiteten Multimedia Autorensysteme zum Erstellen komplexer, interaktiver, multimedialer Internet-Anwendungen. Auf CD ROM oder DVD stehen diese auch offline zur Verfügung. Das Programm macht Gebrauch von der Zeitachsen-, Skript- und Objekt-Metapher. Der Aufbau einer multimedialen Anwendung wird mit der Produktion eines Films verglichen, welche sich aus einer Reihe von einfachen Szenen zusammensetzt. Es werden Bilder in einer schnellen Reihenfolge gezeigt sodass der Eindruck eines Films entsteht. Die Grafiken sind die Darsteller die jede Position der Bühne einnehmen können, wodurch eine Bewegung simuliert werden kann. Das sogenannte Studio dient dem Autor, auch Regisseur genannt, zur Regieführung.

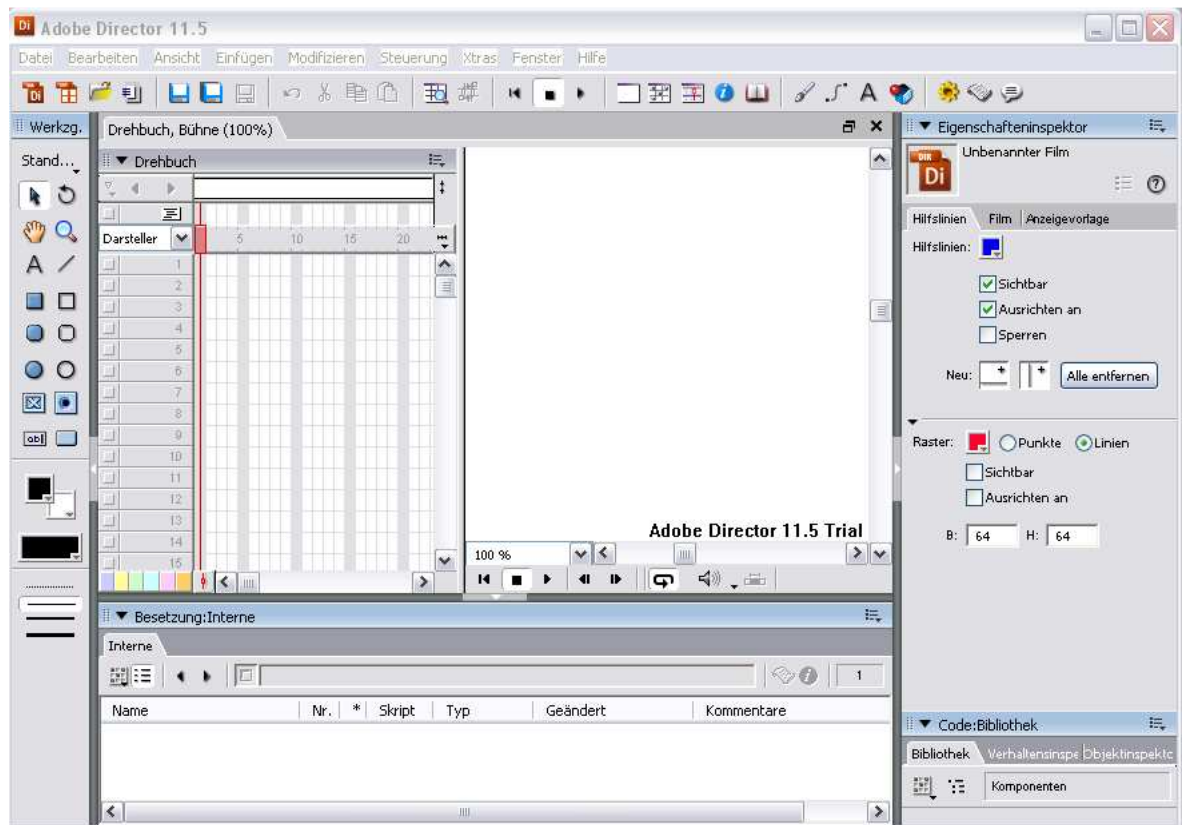


Abbildung 5.5: Benutzeroberfläche von Director

Das Studio besteht aus mehreren Fenstern, aus der Bühne, dem Steuerpult, der Besetzung und dem Drehbuch. Auf der Bühne läuft der zusammengestellte Film ab und mit dem Steuerpult kann der Filmablauf kontrolliert werden. Die Darsteller werden in der Besetzung angelegt und gespeichert. Ein Film besteht aus einer Reihe von Einzelbildern und diese Bilder setzen sich aus einer Menge von Darstellern zusammen. Aus diesem Grund wird im Drehbuchfenster eine Gitterstruktur zur Definition des Ablaufverhaltens eines Films verwendet. Jede Zelle repräsentiert einen Darsteller mit zusätzlichen Attributen. Eine Spalte konstruiert das Gesamtbild und die Zeilen spiegeln den Filmablauf wider.

Als Scriptsprache verfügt Director über die individuelle objektorientierte Programmiersprache Lingo und JavaScript und integriert eine Vielzahl verfügbarer Medien. Alle Objekte können mit Skripten versehen werden, wobei diese dem gesamten Film zugeordnet werden können. Hier wird das Geschehen definiert, wann der Film startet, unterbricht oder endet. Jeder Zelle des Drehbuchfensters kann ein Skript zugeordnet werden, welches ausgeführt wird, wenn der Film die entsprechende Spalte erreicht. Es gibt noch Darsteller-Skripte die zu einem Darsteller gehören und Ereignis-Skripte die aus-

geführt werden wenn eine Eingabe entweder mit der Maus oder mit der Tastatur erfolgt.

Der Funktionsumfang kann durch Zusatzmodule sogenannte Xtras ausgedehnt werden. Sie können den Funktionsumfang der Programmiersprache Lingo erweitern und andere Medientypen, beispielsweise PDF, QuickTime, Datenbanken und Photoshop-Bilddateien, verfügbar machen.

Diese Software steht ebenfalls 30 Tage zur Verfügung. Nach der Testinstallation musste ich mich mit den Funktionen und der Oberfläche vertraut machen. Nach relativ kurzer Zeit habe ich eine einfache Szene realisieren können. Für die Erstellung des Tutoriums musste ich auch die Scriptsprache Lingo anwenden. Mit dieser hatte ich große Schwierigkeiten speziell beim Öffnen von Dateien. Aus diesem Grund wurde die Software von mir auch ausgeschieden. Hier gilt ebenfalls die Annahme, dass das Erlernen der Scriptsprache länger dauert als die eigentliche Programmierung. Empfiehlt sich nur für Personen die mehrere Anwendungen programmieren und mit dieser Scriptsprache umgehen können. [Ado101]

#### **5.6.4 Mediator**

Mediator ist ein Multimedia Autorensystem das auf der Buch-Seiten-Metapher aufgebaut ist und kann auch zum Erzeugen von Websites verwendet werden. Durch die grafische Bedienoberfläche ist die Bedienung des Programms auch für Anfänger sehr einfach. Viele Aktionen sind mit Drag & Drop durchzuführen.

Beim Einstieg in das Programm kann zwischen einer Standardanwendung, einer Webseite oder einer Flash-Anwendung gewählt werden. Nach Festlegung der Bedienoberfläche steht eine große Anzahl an Photo-Cliparts, Vorlagen, Webvorlagen und grafischen Objekten, wie Buttons zur Verfügung. Der Mediator enthält eine große Anzahl von professionellen Werkzeugen und Programmiermöglichkeiten.

Diese Tools erlauben das Erstellen sehr aufwendiger Präsentationen, Spiele und interaktiv auf Eingaben des Anwenders reagierende Projekte. Das eigentliche Programmieren wird im Mediator durch Drag & Drop der gewünschten Elemente durchgeführt. Ein Programmieren im herkömmlichen Sinn ist selbst bei sehr aufwendigen, interaktiven Anwendungen nicht nötig. Aus diesem Grund sind Lernprogramme sehr schnell und einfach umsetzbar.

Sollten doch keine vorgefertigten Elemente verfügbar sein, gibt es Scriptsprachen, wie Visual Basic Script oder JavaScript.

Die Bereitstellung der Lernprogramme, die mit Mediator erstellt wurden, können als CD ROM Projekt abgespeichert, als E-Mail Projekt verschickt oder auf der Homepage veröffentlicht werden.



Abbildung 5.6: Benutzeroberfläche von Mediator

Diese Software wurde für die Erstellung des Tutorials ausgewählt, da der prinzipielle Aufbau wie bei Powerpoint ausgeführt, jedoch sehr einfach mit Drag & Drop zu programmieren ist. Ein weiterer Vorteil ist, dass das Autorensystem auf zwei verschiedene Arten, als CBT in einem EXE-Format und als WBT in einer typischen Webanwendung, kompiliert werden kann. Für eine reibungslose Funktionalität muss bei der Erstellung des Autorensystems auf Basis Websystem gearbeitet werden, wodurch aber weniger Funktionen als bei der normalen Standardanwendung zur Verfügung stehen. [Mat09]



## 6 Realisierung

### 6.1 Gestaltung

#### 6.1.1 Prinzipieller Rahmen

Wegen der heutigen Bildschirmgröße und Auflösung wurde für die Darstellung der Inhalte eine aktive Fenstergröße von 800 x 1000 Pixel gewählt. Dieser verfügbare Bereich wurde in funktionale Zonen eingeteilt. Die Ansicht besteht aus einer Masterseite die das Hauptmenü enthält und immer angezeigt wird. Auf der Arbeitsfläche werden dann die Inhalte präsentiert.

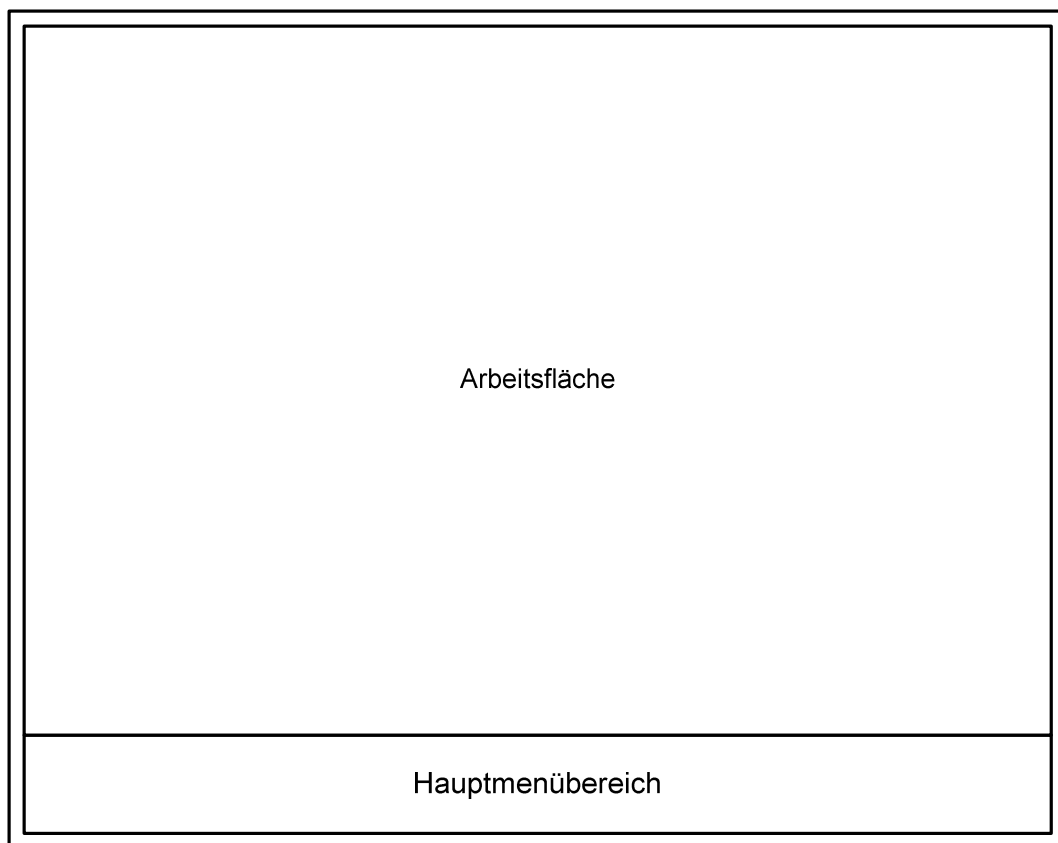


Abbildung 6.1: Raumaufteilung der Masterseite

### 6.1.2 Text und Farben

Bei der Auswahl der Farben wurde berücksichtigt nicht zu grelle Kolorierungen zu verwenden, um die Augen nicht zu ermüden. Der Bildschirm sollte nicht überladen aussehen, um das Auge nicht zu überfordern. Für das Tutorium werden die Farben rot, blau und grün mit folgendem Farbschema verwendet:

- Masterseite hellgrau 192,192,192
- Hintergrund Arbeitsfläche 242,242,242
- Hauptüberschrift 084,141,242
- Überschrift 000,000,192
- Textfarbe 000,000,255
- Farbe der Zeichnungen 000,000,255

### 6.1.3 Navigation

Die Menüführung sollte einfach und selbsterklärend und sämtliche Menüs sollten mit der Maus bedienbar sein. Die Anzeige der Menüleiste nur im unteren Bildschirmbereich wurde gewählt, damit mit der Maus nicht zu lange, große Bewegungen erforderlich sind. Jede Schaltfläche im Hauptrahmen wurde durch eine sich leicht verändernde Färbung und dem Wechsel des Mauszeigers - von Pfeil zu Hand - erkennbar gemacht.

Mit den Schaltflächen auf der Masterseite kann der Anwender nach Belieben durch das gesamte Programm navigieren. Diese Schaltflächen sind das Hauptmenü und während der Lernsitzung immer sichtbar.



Abbildung 6.2: Schaltflächen der Masterseite

Damit die Masterseite nicht überladen wirkt ist auf der Arbeitsfläche, sofern notwendig, ein Kapitelmenü dargestellt. Beim Lexikon, bei den Übungen und bei Filter Free ist ein Kapitelmenü erforderlich. Die Schaltflächen sind die Überschriften der einzelnen Abschnitte. Die Hintergrundfarbe ändert sich wenn man mit der Maus auf eine Schaltfläche geht bzw. ändert sich der Mauszeiger von einem Pfeil zu einer Hand.



<b>1.Einführung</b>
<a href="#">Begriff des Signals</a>
<a href="#">Merkmale der digitalen Signalverarbeitung</a>
<a href="#">Analog - Digital- und Digital - Analog Umsetzung</a>
<a href="#">Abtasttheorem</a>
<a href="#">Quantisierung der Amplituden</a>
<b>2.Zeitdiskrete Signale und Systeme</b>
<a href="#">Zeitdiskrete Signale</a>
<a href="#">Z-Transformation</a>
<a href="#">Beschreibung zeitdiskreter Signale</a>
<a href="#">Analyse zeitdiskreter Systeme im Bildbereich</a>
<a href="#">Frequenzgang zeitdiskreter Systeme</a>
<b>3.Filterentwurf</b>
<a href="#">Entwurfsprinzip</a>
<a href="#">Entwurf von IIR Filter</a>
<a href="#">Grundlegendes beim Entwurf von FIR Filter</a>
<a href="#">FIR Filterentwurf durch Fensterung</a>

Abbildung 6.3: Schaltflächen des Kapitelmenüs Lexikon

Damit der einzelne Abschnitt noch unterteilt werden kann stehen Schaltflächen für die Seiten zur Verfügung:





	<p>Mit diesen Schaltflächen kann zu den einzelnen Seiten navigiert werden. Jene Seite auf der man sich gerade befindet wird nicht angezeigt.</p>
	<p>Mit dieser Schaltfläche gelangt man wieder zum Kapitelmenü. Hat die gleiche Funktion wie im Hauptmenü die Schaltfläche für das jeweilige Kapitel.</p>
	<p>Bei den Übungen und Filter Free steht für alle Aufgaben eine Lösung zur Verfügung. Mit dieser Schaltfläche gelangt man zu der Lösung der jeweiligen Aufgabe. Die Lösung kann auch aus mehreren Seiten bestehen.</p>
	<p>Befindet man sich bei den Lösungen gelangt man mit dieser Schaltfläche wieder zurück zur Aufgabe.</p>

Tabelle 6.1: Schaltflächen der Abschnitte

### 6.1.4 Programmstruktur

Nachfolgend die Veranschaulichung des Seitenaufbaus bei dem Tutorium. (Aufgrund der Größe musste die Grafik auf zwei Seiten aufgeteilt werden.) War kein Kapitelmenü erforderlich, so wurde dies auch nicht ausgeführt. Die Darstellung der Baumstruktur ist nach den tatsächlichen Kapiteln und Seiten aufgezeigt, sind z. B. fünf Seiten im Tutorium vorhanden so sind diese auch in der Grafik dargestellt.

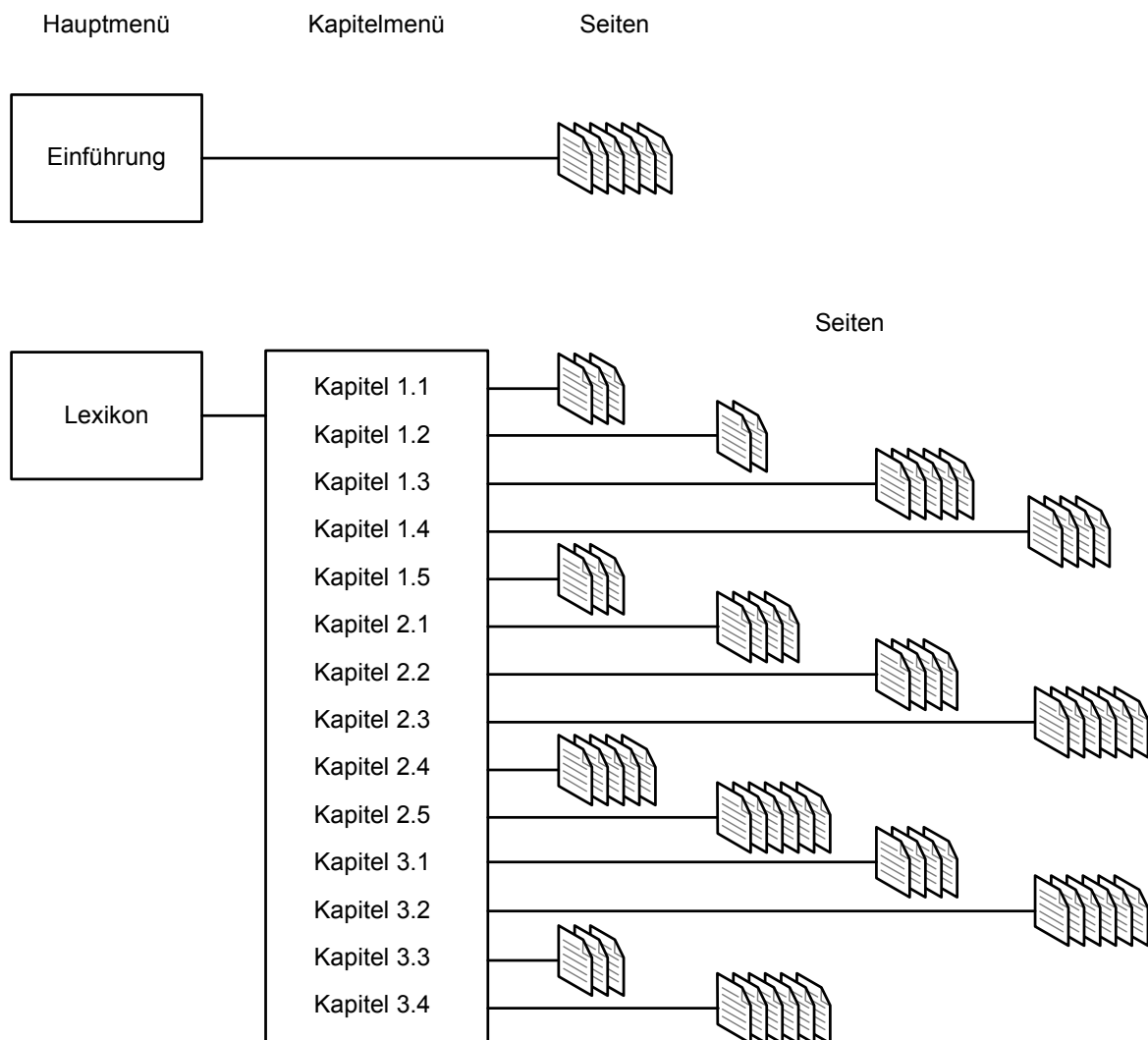


Abbildung 6.4: Programmstruktur Teil 1

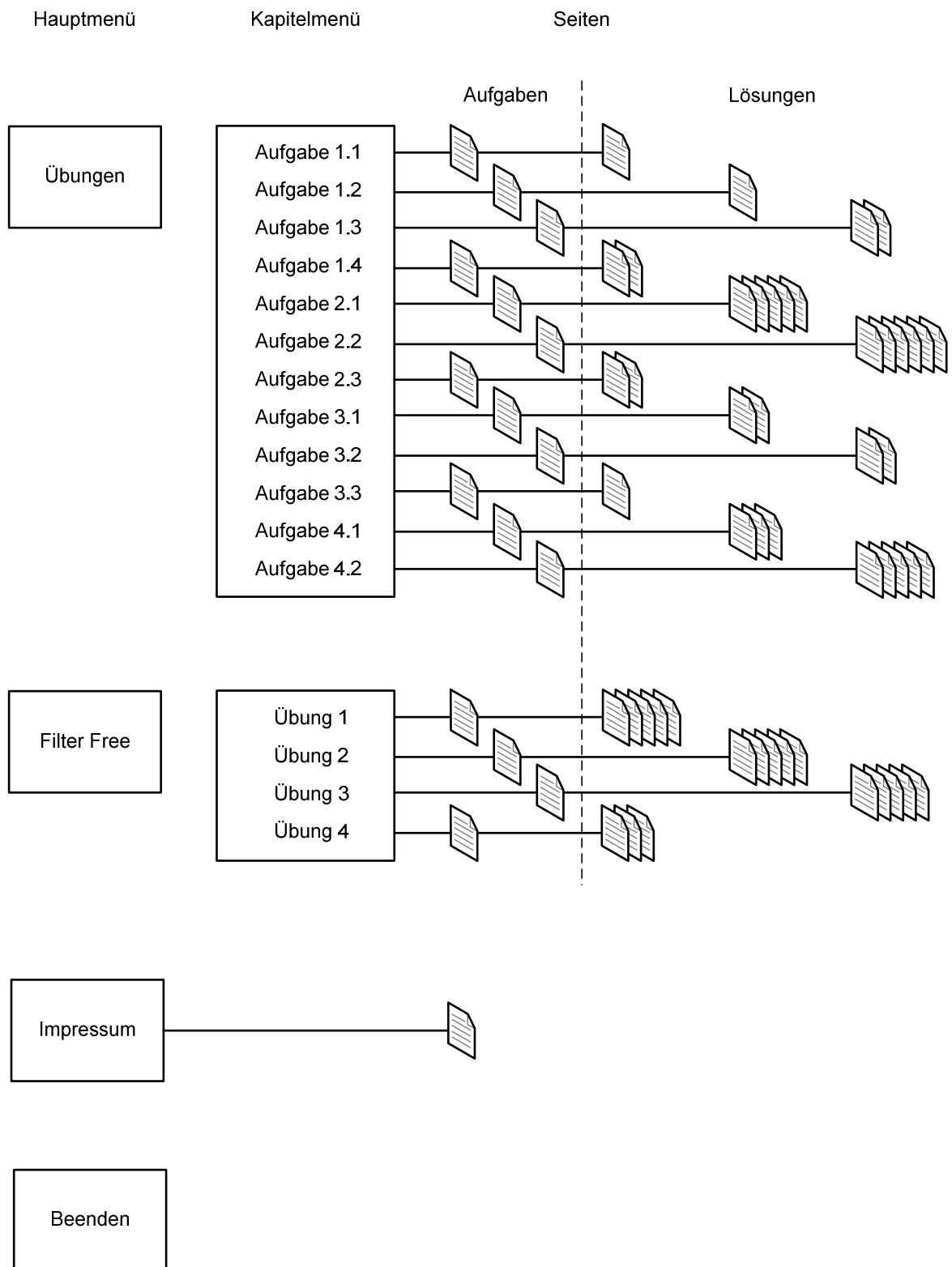


Abbildung 6.5: Programmstruktur Teil 2

## 6.2 Umsetzung der Kapitel

### 6.2.1 Kapitel Einführung

Es zeigt eine Darstellung der Entwicklung von der analogen zur digitalen Signalverarbeitung und deren Einsatzgebiete, sowie eine prinzipielle Erklärung wie ein analoges Signal in ein digitales umgewandelt wird.



Abbildung 6.6: digitale Signalverarbeitungskette

Weiters wird dem Anwender die grundlegende Bedienung erklärt und die Struktur des Tutoriums dargestellt. Für eine weitere intensive Vertiefung ist ein Literaturhinweis angegeben.

### Einführung in das Tutorium

Die digitale Signalverarbeitung hat in der heutigen Zeit die analoge Signalverarbeitung in fast allen Bereichen abgelöst. Die Umstellung wurde durch Einsatz von Mikroprozessoren sehr rasch vorangetrieben. Digitale Signalverarbeitung ist heute sehr vielfältig einsetzbar, einerseits in der Kommunikationstechnik sowie in der Audioverarbeitung, in der Medizintechnik, Bildsignalverarbeitung, Messtechnik und in vielen anderen Bereichen. Typische Aufgaben der digitalen Signalverarbeitung sind z. B. Filterung, Signal- und Systemanalyse, Modulation - Demodulation und digitale Signalsynthese.

Bei der digitalen Signalverarbeitung werden analoge Signale abgetastet und im Analog/Digital-Wandler in eine binäre Zahlenfolge umgeformt. Durch numerische Verarbeitung dieser Zahlenfolge lassen sich lineare oder nichtlineare Prozesse realisieren. Im Digital/Analog-Wandler kann die veränderte Zahlenfolge wieder in ein analoges Signal umgewandelt werden.

2
3
4
5
6

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

Abbildung 6.7: Beispiel Seite Einführung

## 6.2.2 Kapitel Lexikon

Das Lexikon soll als Nachschlagewerk dienen, um die fehlende Theorie nachlesen zu können. Der Inhalt wurde in drei Kapitel unterteilt die dem Vorlesungsinhalt entsprechen. Im ersten Kapitel ist hauptsächlich die Umwandlung von analogem Signal zu einem digitalen Signal dargestellt. Kapitel zwei beschäftigt sich mit der Analyse von Signalen und Systemen. Der grundlegende Filterentwurf ist im dritten Kapitel abgebildet.

Wegen der Größe des Lexikons wurde die Übersichtseite als Navigation angewendet. Über diese Ansicht gelangt man zu den einzelnen Themen, wobei hier das Gleiche gilt wie bei der Einführung, dass jeweils die Schaltfläche ausgeblendet ist, auf welcher man sich gerade befindet. Eine Vereinfachung der Rückkehr zur Übersicht wurde durch die Erstellung der zusätzlichen Schaltfläche "Inhalt" erzielt, welche die gleiche Funktion hat wie die Schaltfläche "Lexikon" im Hauptmenü.



Abbildung 6.8: Übersicht der Kapitel

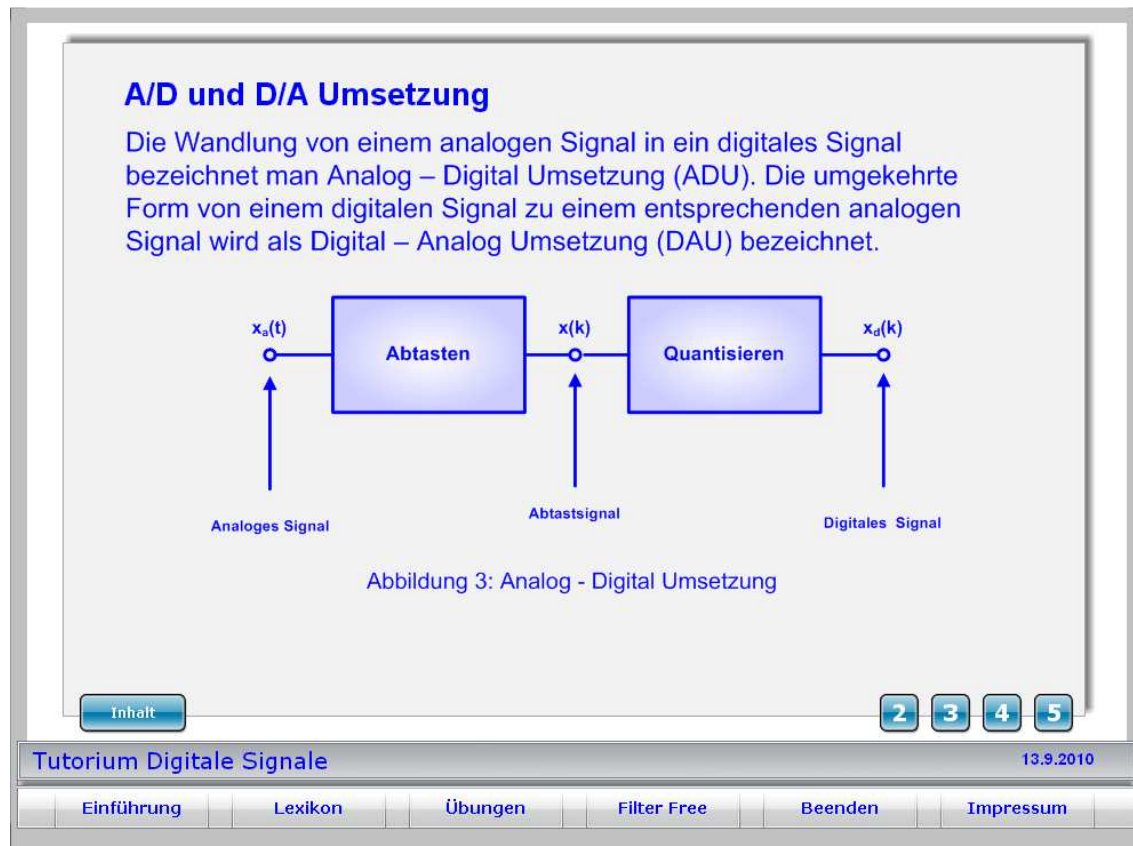


Abbildung 6.9: Beispiel Seite Lexikon

### 6.2.3 Kapitel Übungen

Die Übungen sind der eigentliche Kern des Tutoriums. Durch die Aufgabenstellungen zu den jeweiligen Themen kann der Student seine erworbenen Kenntnisse überprüfen und mit den im Tutorium angebotenen Beispielen sein Wissen für eine ideale Prüfungsvorbereitung festigen.

Der Aufbau ist eine Übersicht der Beispiele. Von hier gelangt man zu den jeweiligen Aufgaben. Zur Kontrolle kann auf der Seite der Angaben für die Übungen die Lösung einfach und unkompliziert abgefragt werden. Der Aufbau wurde so gewählt, dass man zu der Aufgabenstellung kommt, hier sollte dann das Beispiel gelöst und für die eigene Kontrolle kann die Lösung abgerufen werden. Es besteht die Möglichkeit, zwischen Lösung und Aufgabenstellung hin und her zu "switchen". Das Navigieren innerhalb der Seiten ist analog dem Lexikon aufgebaut. Für den Anwender ist die Navigationsfläche wo er sich aktuell befindet unsichtbar. Mittels eigener Schaltflächen kann zur Übersicht zurückgekehrt werden.





Abbildung 6.10: Übersicht Übungen

### 6.2.4 Kapitel Filter Free

Mit dem Tutorium wird das kostenlose Tool "Filter Free" zur Entwicklung für digitale Filter ebenfalls zur Verfügung gestellt. Mit dieser Software ist es möglich analoge passive, analoge aktive und digitale Filter zu entwerfen und zu analysieren. Bei der kostenlosen Free Version ist die Ordnung der Filter begrenzt und die Implementierung von C-Code bzw. Integer nicht frei geschaltet. Es besteht aber die Möglichkeit die Features der Version Filter Solution für 20 Tage zu testen. [eBo09]

Der Aufbau des Tutoriums ist wie bei den Übungen. Es gibt eine Übersicht wo man zu den Aufgabenstellungen navigieren kann, ebenso sind von hier die Lösungen abrufbar. Mit der Software kann die Übertragungsfunktion, der Pol – Nullstellenplan und die Magnitude angezeigt werden. Beim Infiniten Impuls Response Filter steht die Berechnung der Übertragungsfunktion auch zur Verfügung und beispielhaft sind einige Filterentwürfe dargestellt.





## 7 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel wird das Ergebnis der Arbeit zusammengefasst und die erreichten Ziele aufgezeigt. Als Abschluss wird ein Ausblick auf mögliche Erweiterungen angeführt.

### 7.1 Zusammenfassung

Die Lehr- und Lernziele standen von Beginn an fest und waren nicht komplex. Gerade hierin bestand die Herausforderung diese Lernziele in Lehrinhalte zu verpacken und alles in einer ansprechenden Lernumgebung zu präsentieren. Die einzelnen Lektionen zu entwerfen, die passenden Grafiken richtig zu gestalten und die Texte für den Anwender verständlich zu formulieren war sehr aufwendig.

Der farbliche Aufbau ist durchgängig und klar gestaltet. Die gewählten Farben sind augenschonend und sollen den Benutzer anregen in dem Tutorium weiter zu arbeiten.

Bedeutsam war die Aufteilung in:

- Lexikon – damit die in der Vorlesung nicht so intensiv durchgenommenen Teilgebiete offline – zuhause – nachgeholt werden können.
- Aufgaben – damit Beispiele für die Klausur geübt werden und zur eigenen Sicherheit und Kontrolle auch die Lösungen abgerufen werden können.
- Übungen – damit auch die theoretischen Berechnungen mit dem Tool "Filter Free" nachgewiesen werden können.

Da es sich bei der Lernsoftware um eine sogenannte "Drill- & Testsoftware" handelt ist diese nicht im Bereich komplexer Software einzuordnen. Entscheidend ist hier, dass das Computerprogramm online über eine Webseite betrieben und genauso offline auf dem eigenen Rechner verwendet werden kann, wodurch man nicht an eine bestimmte Plattform gebunden ist.

## 7.2 Erreichte Ziele

Die Umsetzung des Tutoriums entspricht den Anforderungen – ein Lernprogramm für die Vertiefung der "Digitalen Signalverarbeitung" zu erstellen – und kann als gelungen bezeichnet werden. Bei der Entwicklung des Tutoriums stand im Vordergrund eine zusätzliche Möglichkeit für die Studenten zu schaffen begleitend zu der Vorlesung den Gegenstand nachschlagen zu können. Für den theoretischen Teil steht ein Lexikon zur Verfügung, das zum Nachlesen und zum Vertiefen der in der Vorlesung dargebrachten Theorie dient. Zur Übung der gelernten Inhalte gibt es Aufgaben zu den einzelnen Kapiteln und die dazugehörigen Lösungen können abgerufen werden. Mit der Demosoft-ware Filter Free können die Berechnungen überprüft und dargestellt werden. Nach eigener Einschätzung wurde das Ziel damit erreicht.

Ein selbst gesetzter Anspruch, das Tutorium als Offline-Lösung, das bedeutet zu Hause ohne Verbindung mit dem Internet, nutzen und das Tutorium ebenso als Webseite einsetzen zu können, wurde ebenfalls erfüllt. Diese Anforderung wurde bei der Programmierung schon berücksichtigt und mit zwei unterschiedlichen Versionen, eine "EXE-Datei" für die Offline-Version und eine "HTML-basierende Version" für die Anwendung über das Internet, erreicht. Dieses Ziel wurde damit bewältigt, da beide Versionen zur Verfügung stehen.

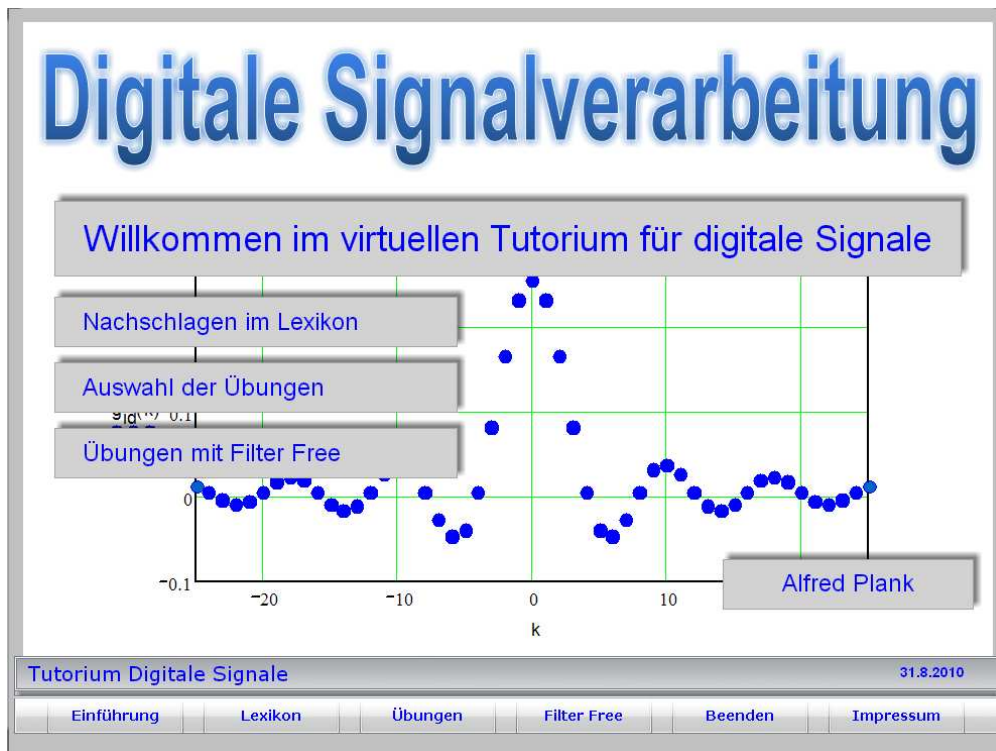
## 7.3 Ausblick

Um die Komplexität des Tutoriums zu erhöhen, besteht zusätzlich zum derzeitig vorliegenden Tutorium noch die Möglichkeit dieses zu erweitern und Praktikumsbeispiele einzufügen, damit sich die Studenten auf die Laborübungen bei der Präsenzveranstaltung vorbereiten können.

# Anlagen

## Darstellung des Tutoriums

Startseite



Einführung

### Einführung in das Tutorium

Die digitale Signalverarbeitung hat in der heutigen Zeit die analoge Signalverarbeitung in fast allen Bereichen abgelöst. Die Umstellung wurde durch Einsatz von Mikroprozessoren sehr rasch vorangetrieben.

Digitale Signalverarbeitung ist heute sehr vielfältig einsetzbar, einerseits in der Kommunikationstechnik sowie in der Audioverarbeitung, in der Medizintechnik, Bildsignalverarbeitung, Messtechnik und in vielen anderen Bereichen. Typische Aufgaben der digitalen Signalverarbeitung sind z. B. Filterung, Signal- und Systemanalyse, Modulation - Demodulation und digitale Signalsynthese.

Bei der digitalen Signalverarbeitung werden analoge Signale abgetastet und im Analog/Digital-Wandler in eine binäre Zahlenfolge umgeformt. Durch numerische Verarbeitung dieser Zahlenfolge lassen sich lineare oder nichtlineare Prozesse realisieren. Im Digital/Analog-Wandler kann die veränderte Zahlenfolge wieder in ein analoges Signal umgewandelt werden.

2 3 4 5 6

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Einführung

**Einführung in das Tutorium**

Auf Grund der digitalen Verarbeitung sind diese Systeme unempfindlich gegen Veränderungen der Bauteileigenschaften und gegen Störungen und Alterung. Ebenso ist eine Schwankung der Temperatur und der Versorgungsspannung nicht relevant.

Dadurch entfällt ein individueller Abgleich. Die Anzahl der zur Zahlendarstellung verwendeten Binärstellen ist für die Genauigkeit entscheidend. Nachteilig ist der höhere Schaltungsaufwand, der jedoch angesichts des zunehmenden Integrationsgrades immer weniger ins Gewicht fällt.




Abbildung 1: Digitale Signalverarbeitungskette

1 3 4 5 6

Tutorium Digitale Signale 12.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Einführung

**Einführung in das Tutorium**

- Analoges System – analoge Signalvorbereitung  
Filter zum Dämpfen der Frequenzen oberhalb der halben Abtastfrequenz
- AD-Wandler  
Signalabtastung mit Abtastperiode  $T_A$ , Quantisierung und Binärwortdarstellung der Samples
- Digitale Signalverarbeitung  
Paralleles (fest verdrahtetes) oder sequentielles (programmierbares) Rechenwerk, z.B. Mikrocontroller oder Digitaler Signalprozessor (FPGA)
- DA-Wandler
- Analoges System – analoge Signalnachverarbeitung  
Rekonstruktion - Tiefpass zum Entfernen der Abtastfrequenz und deren Oberschwingungen aus dem Ausgangssignal

1 2 4 5 6

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Einführung

### Arbeiten mit dem Tutorium

Die Studenten können das Tutorium als vorlesungsbegleitendes Lernmaterial genutzt werden. Neben intensivem Literaturstudium dient das Tutorium als Aufgabensammlung und Nachschlagewerk.

Durch Lösen der Übungsaufgaben soll der Lernstoff näher gebracht werden und für das Selbststudium Unterstützung bieten. Sollte bei einigen Beispielen die Aufgabenstellung zu komplex sein so kann anhand der schrittweise dargestellten Lösungen die Aufgabe nachvollzogen werden.

```

graph LR
    A[Einführung  
Arbeiten mit dem  
Tutorium  
Literaturhinweis] --> B[Lexikon  
Nachschlagewerk  
für die Theorie]
    B --> C[Übungsaufgaben  
mit Lösungen]
    C --> D[Filterentwurf mit  
Filter Free]
  
```

Abbildung 2: Struktur des Tutoriums

1 2 3 5 6

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Einführung

### Literaturhinweis und ergänzende Literatur

[Kam09]. **Kammeyer, Karl-Dirk und Kroschel Kristian 2009.** *Digitale Signalverarbeitung*. s.l. : Vieweg+Teubner; Auflage: 7., erweiterte und korrigierte Auflage., 2009. 3834806102 .

[Opp04]. **Oppenheim, Alan und Schafer Ronald 2004.** *Zeitdiskrete Signalverarbeitung*. s.l. : Pearson Studium; Auflage: 2., überarb., 2004. 3827370779.

[Ger96]. **Gerdson Peter und Kröger Peter 1996.** *Digitale Signalverarbeitung in der Nachrichtenübertragung*. s.l. : Springer, Berlin; Auflage: 2., erw. A, 1996. 3540611940 .

[Sch05]. **Scheithauer Rainer 2005.** *Signale und Systeme*. - 2. Auflage Wiesbaden : B. G.Teubner, 2005. ISBN 3-519-16425-6.

1 2 3 4 6

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum



## Einführung

### Literaturhinweis und ergänzende Literatur

[Grü04]. **von Grünigen Daniel. September 2004.** *Digitale Signalverarbeitung*. s.l. : Hanser Fachbuchverlag; Auflage: 3., neubearb. u. erw. A., September 2004. 3446228616.

[Wen04]. **Wendemuth Andreas. 2004.** *Grundlagen der digitalen Signalverarbeitung*. - Berlin Heidelberg : Springer, 2004. ISBN 3-540-21885-8.

[Wer09]. **Werner Martin. 2009.** *Digitale Signlaverarbeitung mit Matlab*. - 4. Auflage Wiesbaden : Viegweg+Teuber, 2009. ISBN 978-3834804570.

1
2
3
4
5

Tutorium Digitale Signale
31.8.2010

Einführung	Lexikon	Übungen	Filter Free	Beenden	Impressum
------------	---------	---------	-------------	---------	-----------

## Übersicht Lexikon

### 1. Einführung

- Begriff des Signals
- Merkmale der digitalen Signalverarbeitung
- Analog - Digital und Digital - Analog Umsetzung
- Abtasttheorem
- Quantisierung der Amplituden

### 2. Zeitdiskrete Signale und Systeme

- Zeitdiskrete Signale
- Z-Transformation
- Beschreibung zeitdiskreter Signale
- Analyse zeitdiskreter Systeme im Bildbereich
- Frequenzgang zeitdiskreter Systeme

### 3. Filterentwurf

- Entwurfsprinzip
- Entwurf von IIR Filtern
- Grundlegendes beim Entwurf von FIR Filtern
- FIR Filterentwurf durch Fensterung

Tutorium Digitale Signale
12.9.2010

Einführung	Lexikon	Übungen	Filter Free	Beenden	Impressum
------------	---------	---------	-------------	---------	-----------

## Begriff des Signals

### Begriff des Signals

Einen zeitabhängigen physikalischen Vorgang nennt man Signal. Das Signal besitzt Informationsparameter, wie zum Beispiel die Amplitude  $A$ , die Frequenz  $\omega$  und die Phase  $\phi$ .

Zeitbereich \ Wertebereich	kontinuierlich	diskret
kontinuierlich	analoges Signal	Abtastsignal
diskret	Treppensignal	digitales Signal

Die Signale lassen sich in folgende Klassen einteilen. Der Übergang von einem analogen zu einem digitalen Signal bezeichnet man Analog-Digital-Wandlung (A/D Wandlung). Dabei sind folgende Operationen erforderlich.

- Diskretisierung des Zeitbereichs
- Quantisierung des Wertebereichs

Inhalt 2 3

Tutorium Digitale Signale 12.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Begriff des Signals

Die Diskretisierung und Quantisierung erfolgt durch Abtastung des kontinuierlichen Definitionsbereiches zu den diskreten Zeitpunkten  $kT_A$  und des Wertebereiches an den diskreten Werten  $m \Delta_x$ . Im Regelfall sind die Abtastintervalle  $T_A$  und die Amplitudenstufen  $\Delta_x$  Konstanten.

Abbildung 1: Unterschiedliche Signalklassen

Inhalt 1 3

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Begriff des Signals

Charakteristisch für zeitdiskrete Signale ist, dass Signalwerte nur zu Zeitpunkten  $kT_A$  auftreten. Damit ergibt sich ein mathematisches Modell eines zeitdiskreten Signals:

$$\{x(kT_A)\} = \{x_k\} = \{x_0, x_1, x_2, x_3, \dots\}$$

$$\{x(kT_A)\} = \{x_k \mid k = 0, 1, 2, 3, \dots\}$$

Inhalt

1 2

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Merkmale der digitalen Signalverarbeitung

**Merkmale der digitalen Signalverarbeitung**

Die meisten Signalquellen die in der Natur vorkommen sind analog. Für die digitale Signalverarbeitung ist die Durchführung einer Signalwandlung erforderlich.

Abbildung 2: Digitale Signalverarbeitungskette

Inhalt

2

Tutorium Digitale Signale 12.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum



## Merkmale der digitalen Signalverarbeitung

### Merkmale der digitalen Signalverarbeitung

Vorteile des digitalen Signals:

- beliebig hohe Genauigkeit bei entsprechend hohem Aufwand
- bessere Störsicherheit
- bessere Flexibilität
- reduzierte Verarbeitungskosten
- digitales Signal kann gespeichert werden

Nachteile des digitalen Signals:

- A/D- bzw. D/A-Wandlung erforderlich
- Verarbeitungsgeschwindigkeit ist geringer als bei der analogen Signalverarbeitung

Inhalt 1

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Analog – Digital und Digital – Analog Umsetzung

### A/D und D/A Umsetzung

Die Wandlung von einem analogen Signal in ein digitales Signal bezeichnet man Analog – Digital Umsetzung (ADU). Die umgekehrte Form von einem digitalen Signal zu einem entsprechenden analogen Signal wird als Digital – Analog Umsetzung (DAU) bezeichnet.

```
graph LR; A[Analoges Signal x_a(t)] --> B[Abtasten]; B --> C[Abtastsignal x(k)]; C --> D[Quantisieren]; D --> E[Digitales Signal x_d(k)];
```

Abbildung 3: Analog - Digital Umsetzung

Inhalt 2 3 4 5

Tutorium Digitale Signale 12.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Analog – Digital und Digital – Analog Umsetzung

**A/D und D/A Umsetzung**

In der Praxis erfolgt das Abtasten durch Abtast-Halte-Glieder (Sample & Hold-Glieder, S&H-Glieder)

Abbildung 4: Abtastung mit Sample & Hold-Glied

Inhalt 1 3 4 5

Tutorium Digitale Signale 12.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Analog – Digital und Digital – Analog Umsetzung

**A/D und D/A Umsetzung**

Aus systemtheoretischer Sicht lässt sich das Sample & Hold-Glied als idealer Abtaster mit nachfolgendem Halteglied mit der Gewichtsfunktion  $h_H(t)$  darstellen.

Abbildung 5: Idealer Abtaster mit Halteglied

Inhalt 1 2 4 5

Tutorium Digitale Signale 12.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Analog – Digital und Digital – Analog Umsetzung

### A/D und D/A Umsetzung

Das Ausgangssignal des Sample & Hold-Gliedes erhält man:

$$u_H(t) = u_A(t) * h_H(t) = \left[ \sum_{k=-\infty}^{\infty} u_A(k \cdot T_A) \cdot T_A \cdot \delta(t - k \cdot T_A) \right] * \left[ \frac{1}{T_A} \cdot \text{rec}(t) \right] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} u_A(k \cdot T_A) \cdot \text{rec}(t - k \cdot T_A)$$

z. B.:  $u_A(0) \cdot T_A \delta(t) * h_H(t) = u_A(0) \cdot \text{rec}(t)$

Abbildung 6: Ausgangssignal des Sample & Hold Gliedes

Inhalt 1 2 3 5

Tutorium Digitale Signale 12.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Analog – Digital und Digital – Analog Umsetzung

### A/D und D/A Umsetzung

Für die Umwandlung von einem digitalen Signal in ein analoges Signal sind

- ein Halteglied für die Gewinnung des Treppensignals
- eine Glättung für die Gewinnung des analogen Signals

ausgehend von einem zeitdiskreten Signal erforderlich.

Abbildung 7: Prozess der Digital - Analog Umsetzung

Inhalt 1 2 3 4

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Abtasttheorem

### Abtasttheorem

- Abtastvorgang

Die ideale Abtastung ist die Multiplikation eines Signals mit einem Dirac Kamm.

$$\delta(t) = T_A \cdot \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_A)$$

Das Ergebnis ist ein Abtastsignal  $u_A(t)$  als eine gewichtete Folge von Diracstößen.

$$u_A(t) = T_A \cdot \sum_{k=-\infty}^{\infty} u(t = k \cdot T_A) \cdot x(t - k \cdot T_A)$$

Inhalt

2
3
4

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

## Abtasttheorem

### Abtasttheorem

- Spektrum des Abtastsignals

Die Multiplikation eines analogen Signals mit einem Dirac Kamm ergibt die Faltung mit dem Spektrum des Dirac Kamms.

$$FT\{u(t) \cdot \delta_c(t)\} = U(jf) * \Delta_c(f)$$

Dadurch erhält man eine Folge von Diracfunktionen im Frequenzbereich im Abstand von:

$$f_A = \frac{1}{T_A}$$

Aus den nachfolgenden drei Fällen ergibt sich die Forderung, dass die Abtastfrequenz mindestens doppelt so groß sein muss wie die höchste Frequenz im Signalspektrum. Bei kleinerer Abtastfrequenz tritt Aliasing auf und damit eine Verfälschung des Spektrums.

Abtasttheorem:  $f_A \geq 2 \cdot f_g \quad T_A \leq \frac{1}{2 \cdot f_g}$

Inhalt

1
3
4

Tutorium Digitale Signale
31.8.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

## Abtasttheorem

**Abtasttheorem**

- Überabtastung

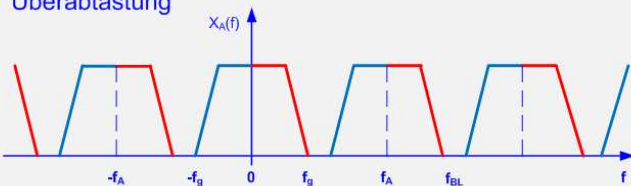


Abbildung 8: Überabtastung  $f_A > 2f_g$

- Abtastung mit der Nyquistfrequenz

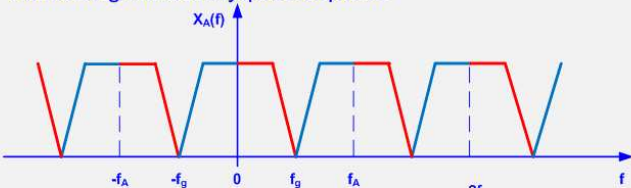


Abbildung 9: Abtastung mit der Nyquistfrequenz  $f_A = 2f_g$

Inhalt 1 2 4

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Abtasttheorem

**Abtasttheorem**

- Unterabtastung mit Aliasing

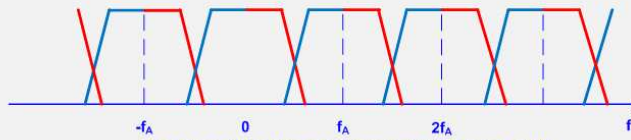


Abbildung 10: Unterabtastung mit Aliasing  $f_A < 2f_g$

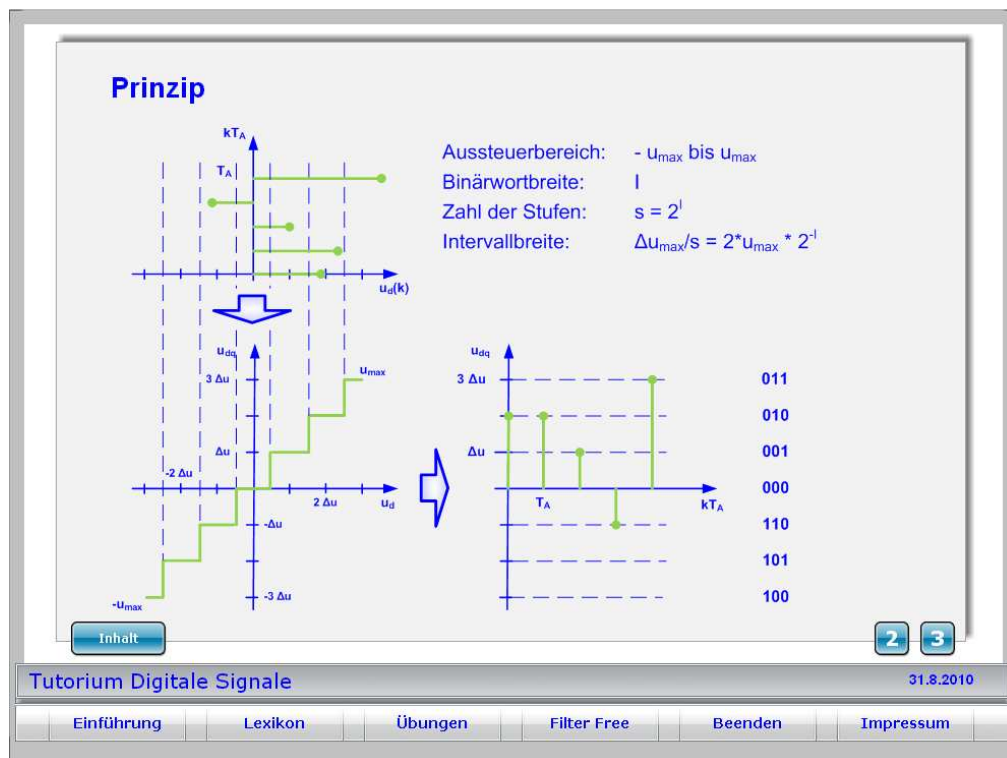
Inhalt 1 2 3

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

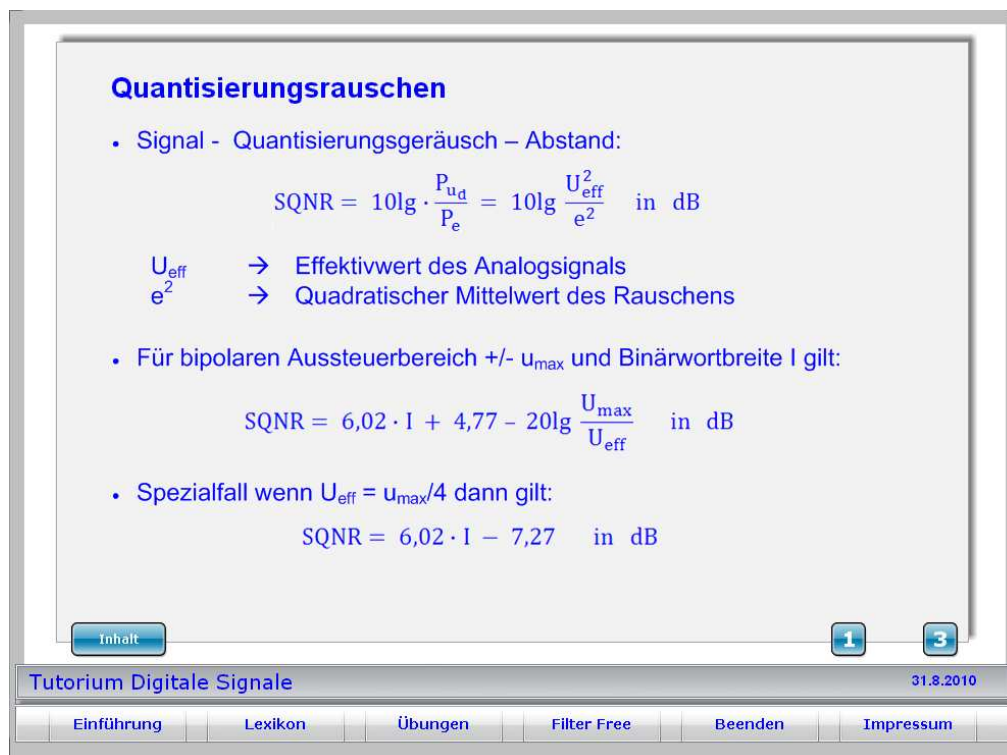
Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum



## Quantisierung der Amplituden



## Quantisierung der Amplituden



## Quantisierung der Amplituden

### Dynamikumfang

- **Dynamikumfang:**  
Verhältnis von maximaler zu minimaler verarbeitbarer Signalamplitude bzw. Signalleistung

$$D = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}} = 20 \lg \frac{U_{\max}}{U_{\min}} \quad \text{in dB}$$

- Bei voll ausgesteuerten Wandler (Full Scale Range Utilization – FSR):

$$D = 20 \lg \frac{U_{\max}}{\Delta u/2} = 20 \lg \cdot 2^I = 6,02 \cdot I \quad \text{in dB}$$

- Bei keiner Vollaussteuerung reduziert sich die Dynamik:

$$D = 6,02 \cdot I + 20 \lg \frac{\%FSR}{100\%} \quad \text{in dB}$$

Inhalt
1 2

Tutorium Digitale Signale
31.8.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

## Zeitdiskrete Signale

### Darstellungsformen für zeitdiskrete Signale

Ein zeitdiskretes Signal ist eine Folge von Zahlen. Das mathematische Modell für die Folge ist:

$$\{x(kT_A)\} = \{x_k\}$$

- analytischer Ausdruck  $\{x_k\} = \{|k|\}$
- Folge  $\{x_k\} = \{\dots, 5, 4, 3, 2, 1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots\}$

Inhalt
2 3 4

Tutorium Digitale Signale
31.8.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

## Zeitdiskrete Signale

### Darstellungsformen für zeitdiskrete Signale

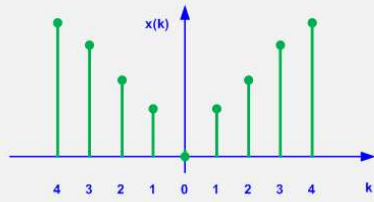
- Grafik
 

Abbildung 11: grafische Darstellung zeitdiskreter Signale
- Tabelle
 

k	... -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 ...
x(k)	... 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 ...

Tabelle 2.1 Darstellung zeitdiskreter Signale

Inhalt 1 3 4

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Zeitdiskrete Signale

### Grundlegende zeitdiskrete Signale

- Impulsfolge
 
$$\{\delta(k)\} = \begin{cases} 1 & \text{für } k = 0 \\ 0 & \text{für } k \neq 0 \end{cases}$$

$\{\delta(k)\}$  wird auch als Dirac – Impulsfolge bezeichnet
- Einheitssprungfolge
 
$$\{s(k)\} = \begin{cases} 1 & \text{für } k \geq 0 \\ 0 & \text{für } k < 0 \end{cases}$$
- Rampenfolge
 
$$\{r(k)\} = \begin{cases} k & \text{für } k \geq 0 \\ 0 & \text{für } k < 0 \end{cases}$$
- Exponentialfolge
 
$$\{x(k)\} = \{a^k\}$$

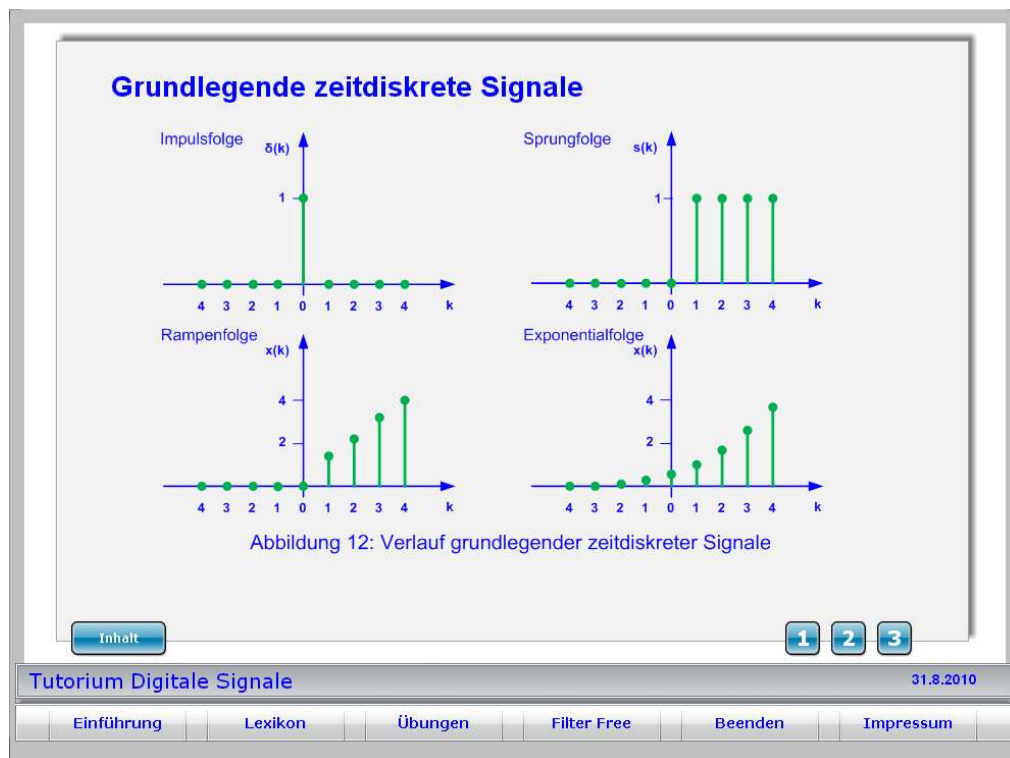
Inhalt 1 2 4

Tutorium Digitale Signale 12.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum



## Zeitdiskrete Signale



## Z-Transformation

**Z-Transformation**

Es besteht die Möglichkeit, Signale nicht nur im Zeitbereich, sondern auch in einem Bildbereich darzustellen. Diese Darstellung wird durch Transformation vom Zeitbereich in den Bildbereich erreicht. Das Ergebnis der Transformation ist eine repräsentative Bildfunktion im Bildbereich. Für zeitdiskrete Signale wird die Z-Transformation verwendet.

Definition der Z-Transformation (ZT)

$$\text{ZT}[\{x(k)\}] = \sum_{k=0}^{\infty} x(k) \cdot z^{-k} = X(z)$$

Die Z-Transformation ordnet einer Abtastfolge  $\{x(k)\}$  eine Bildfunktion  $X(z)$  zu.

Inhalt 2 3 4

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Z-Transformation

### Z-Transformation

Beispiele:

$$ZT[\{\delta(k)\}] = \sum_{k=0}^{\infty} \delta(k) \cdot z^{-k} = z^0 + 0 \cdot z^{-1} = 1$$

$$ZT[\{\delta(k-1)\}] = \sum_{k=0}^{\infty} \delta(k-1) \cdot z^{-k} = 0 \cdot z^0 + 1 \cdot z^{-1} = z^{-1}$$

Inhalt

1
3
4

Tutorium Digitale Signale
31.8.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

## Z-Transformation

### Rücktransformation

Durch die Anwendung der inversen Z-Transformation ( $ZT^{-1}$ ) ist es möglich, die zu einer gegebenen Bildfunktion  $X(z)$  zugehörige Folge  $\{x(k)\}$  zu ermitteln.

$$\{x(k)\} = ZT^{-1}\{X(z)\}$$

Eine einfachere Methode der Rücktransformation gebrochener rationaler Funktionen der Variablen  $z$  erhält man durch Ausdividieren.

Beispiel:  $X(z) = \frac{1}{1-z^{-1}}$       ges.:  $\{x(k)\}$

Inhalt

1
2
4

Tutorium Digitale Signale
31.8.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

## Z-Transformation

### Polynomdivision

Lösung:

$$\begin{array}{r}
 1 : 1 - z^{-1} = 1 + z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} \dots \\
 \underline{-(1 - z^{-1})} \\
 0 + z^{-1} \\
 \underline{-(z^{-1} + z^{-2})} \\
 0 + z^{-2} \\
 \underline{-(z^{-2} + z^{-3})} \\
 0 + z^{-3}
 \end{array}$$

$$\text{ZT}\{x(k)\} = X(z) = \sum_{k=0}^{\infty} x(k) \cdot z^{-k}$$

$$\Rightarrow \{x(k)\} = \{1; 1; 1; \dots\} = \{s(k)\}$$

Inhalt 1 2 3 5

Tutorium Digitale Signale 14.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Z-Transformation

### Wichtige Rechenregeln der Z-Transformation

$\{x(k)\}$	$X(z)$	$\{x(k)\}$	$X(z)$
$\{\delta(k)\}$	1	$\{k a^k s(k)\}$	$\frac{a z^{-1}}{(1 - a z^{-1})^2}$
$\{s(k)\}$	$\frac{1}{1 - z^{-1}}$	$\{k(k-1) a^k s(k)\}$	$\frac{2 a^2 z^{-2}}{(1 - a z^{-1})^3}$
$\{a^k s(k)\}$	$\frac{1}{1 - a z^{-1}}$	$\{a^k \cos(k \alpha) s(k)\}$	$\frac{1 - a z^{-1} \cos \alpha}{1 - 2 a z^{-1} \cos \alpha + a^2 z^{-2}}$
$\{e^{a k} s(k)\}$	$\frac{1}{1 - e^a z^{-1}}$	$\{a^k \sin(k \alpha) s(k)\}$	$\frac{a z^{-1} \sin \alpha}{1 - 2 a z^{-1} \cos \alpha + a^2 z^{-2}}$

Tabelle 1: Korrespondenzen und Rechenregeln der Z-Transformation

Inhalt 1 2 3

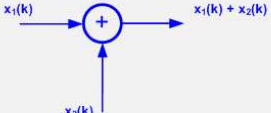
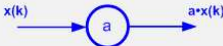

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Beschreibung zeitdiskreter Signale

### Grundstruktur zeitdiskreter Systeme

Im Zeitbereich können zeitdiskrete Signale durch eine Differenzengleichung beschrieben werden. Mit den Grundelementen lässt sich eine Struktur für zeitdiskrete Systeme grafisch darstellen.

- Addierer
 
- Multiplizierer
 
- Speicherer/Verzögerer
 

Signalfusspläne entstehen durch die Zusammenschaltung dieser Symbole. Die Symbole sind frei verwendbar und anwendbar.

Inhalt 2 3 4 5 6

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Beschreibung zeitdiskreter Signale

### Elementarfolgen und ihre Systemreaktionen

Die Eigenschaften eines Systems werden durch die Impulsantwort  $\{h(k)\}$  bzw. durch die Sprungantwort  $\{\ddot{u}(k)\}$  vollständig und eindeutig beschrieben. Aus diesem Grund werden diese Funktionen auch als Systemfunktionen bezeichnet.

- Stoßfolge – Gewichtsfolge

Die Impulsantwort  $\{h(k)\}$  ist das Ausgangssignal des Systems bei einem Eingabesignal der Impulsfolge  $\{\delta(k)\}$ .

Definition:  $\{\delta(k)\} = \{1, 0, 0, \dots\} \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$

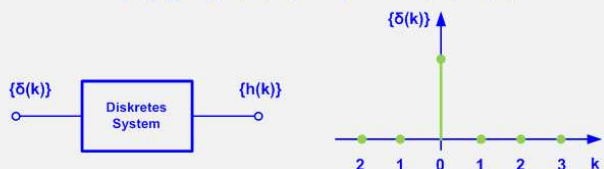


Abbildung 13: Definition der Gewichtsfolge und Abbildung der Stoßfolge

Inhalt 1 3 4 5 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Beschreibung zeitdiskreter Signale

### Elementarfolgen und ihre Systemreaktionen

- Sprungfolge - Übergangsfolge

Die Sprungantwort  $\{\ddot{u}(k)\}$  ist das Ausgangssignal des Systems bei einem Eingangssignal der Sprungfolge  $\{s(k)\}$ .

Definition:  $\{s(k)\} = \{1, 1, 1, \dots\} \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$

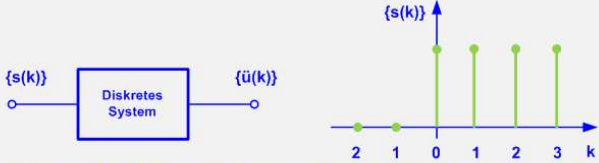


Abbildung 14: Definition der Übergangsfolge und Abbildung der Sprungfolge

Inhalt 1 2 4 5 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Beschreibung zeitdiskreter Signale

### Elementarfolgen und ihre Systemreaktionen

- Zusammenhänge

$$s(k) = \sum_{i=0}^k \delta(k-i) \quad \{\delta(k)\} = \{s(k)\} - \{s(k-1)\}$$

$$\downarrow$$

$$\ddot{u}(k) = \sum_{i=0}^k h(k-i) \quad \{h(k)\} = \{\ddot{u}(k)\} - \{\ddot{u}(k-1)\}$$

Inhalt 1 2 3 5 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum



## Beschreibung zeitdiskreter Signale

### Diskrete Faltung

Es besteht ein Zusammenhang von Ein- und Ausgangssignal des Systems, wobei das System durch seine Gewichtsfolge beschrieben wird.

Abbildung 15: Ein- und Ausgangsfolge zeitdiskreter Systeme

Inhalt

12346

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

EinführungLexikonÜbungenFilter FreeBeendenImpressum

## Beschreibung zeitdiskreter Signale

### Diskrete Faltung

Der Faltungssatz ist eine mathematische Operation die für zwei Signale verwendet wird. Das Ergebnis dieser Operation ist eine "Faltungssumme". Sind die beiden Signale diskrete Folgen so gilt folgender Zusammenhang:

$$\{z(k)\} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x(i) \cdot y(k-i) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} y(i) \cdot x(k-i)$$

Für kausale Folgen gilt folgende Beziehung:

$$\{z(k)\} = x(k) * y(k) = \sum_{i=0}^k x(i) \cdot y(k-i) = \sum_{i=0}^k y(i) \cdot x(k-i)$$

Der Faltungsoperant wird als \* dargestellt.

Inhalt

12345

Tutorium Digitale Signale
31.8.2010

EinführungLexikonÜbungenFilter FreeBeendenImpressum

## Analyse zeitdiskreter Systeme im Bildbereich

### Übertragungsfunktion $H(z)$

Für Systeme mit einem energielosen Anfangszustand definiert man die Übertragungsfunktion  $H(z)$  als Quotient der Bildfunktionen von Ausgabe- und Eingabesignal.

$$H(z) = \frac{ZT\{y(k)\}}{ZT\{x(k)\}} = \frac{Y(z)}{X(z)}$$

Für die Darstellung der Übertragungsfunktion als Polynomgleichung kann man zwei verschiedene Formen anwenden

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2} + \dots + b_M \cdot z^{-M}}{1 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2} + \dots + a_N \cdot z^{-N}}$$

und mit  $\frac{z^N}{z^N}$  erweitern.

$$H(z) = \frac{b_0 \cdot z^N + b_1 \cdot z^{N-1} + b_2 \cdot z^{N-2} + \dots + b_M \cdot z^{N-M}}{1 \cdot z^N + a_1 \cdot z^{N-1} + a_2 \cdot z^{N-2} + \dots + a_N}$$

Inhalt 2 3 4 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Analyse zeitdiskreter Systeme im Bildbereich

### Übertragungsfunktion $H(z)$

In den nachfolgenden Abbildungen sind Beispiele eines zeitdiskreten Systems im Zeitbereich, Bildbereich, Differenzengleichung und die Übertragungsfunktion dargestellt.

Darstellung im Zeitbereich

Darstellung im Bildbereich

Abbildung 16: Zeitdiskretes System

Inhalt 1 3 4 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Analyse zeitdiskreter Systeme im Bildbereich

### Pol- und Nullstellenplan $H(z)$

Bei der Ermittlung der Pol- und Nullstellen ist immer von jener Polynomgleichung auszugehen, wo die Potenzen von  $z$  positiv sind. Ist eine Übertragungsfunktion gegeben, wo die Potenzen von  $z$  negativ sind, so ist diese Gleichung mit  $z^N/z^N$  zu erweitern. Als weiteren Schritt wird die Konstante  $b_0$  vor den Bruchstrich gesetzt und die Faktoren vom Zähler durch  $b_0$  dividiert.

$K = b_0, \quad c_i = b_i/b_0, \quad i = 1, 2, \dots, M$

$$H(z) = K \cdot \frac{z^N + c_1 \cdot z^{N-1} + c_2 \cdot z^{N-2} + \dots + c_M \cdot z^{N-M}}{z^N + a_1 \cdot z^{N-1} + a_2 \cdot z^{N-2} + \dots + a_N}$$

Die Nullstellen erhält man indem man den Zähler der Polynomgleichung gleich Null setzt. Die Polstellen erhält man wenn man den Nenner gleich Null setzt.

Pole und Nullstellen sind entweder reelle Zahlen oder konjugiert komplexe Paare.

Inhalt 1 2 4 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

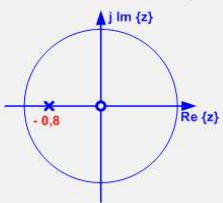
Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Analyse zeitdiskreter Systeme im Bildbereich

### Pol- und Nullstellenplan $H(z)$

Beispiel:  $H(z) = \frac{0,5}{1 + 0,8 \cdot z^{-1}} \cdot \frac{z}{z} = \frac{0,5 \cdot z}{z + 0,8} = \frac{1}{2} \cdot \frac{z}{z + 0,8}$

Nullstellen:  $z = 0$       Polstellen:  $z + 0,8 = 0 \Rightarrow z = -0,8$



● Nullstelle  
× Polstelle

Aus einem Pol- und Nullstellenplan kann die Übertragungsfunktion  $H(z)$  bis auf die Konstante wieder zurück gewonnen werden. Konstanten werden im Pol- und Nullstellenplan nicht dargestellt. Pole und Nullstellen in nachfolgende Gleichung einsetzen.

$$H(z) = K \cdot \frac{(z - z_{01}) \cdot (z - z_{02}) \cdot \dots}{(z - z_{x1}) \cdot (z - z_{x2}) \cdot \dots}$$

Inhalt 1 2 3 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum



## Analyse zeitdiskreter Systeme im Bildbereich

**Pol- und Nullstellenplan  $H(z)$**

Zeitdiskrete Systeme sind Bounded-Input-Bounded-Output-stabil (BIBO-stabil), wenn alle Pole innerhalb des Einheitskreises liegen. Die Nullstellen können in der gesamten  $z$ -Ebene liegen.

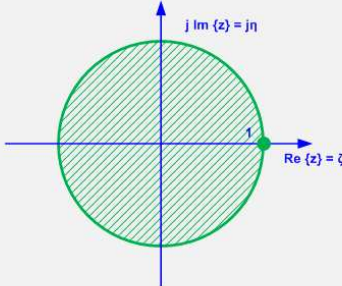


Abbildung 17: Pol- und Nullstellenplan zeitdiskreter Systeme

Inhalt 1 2 3 4

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Frequenzgang zeitdiskreter Systeme

**Definition**

Wirkt auf ein zeitdiskretes System ein diskretes Exponentialsignal so reagiert das System ebenfalls mit einem diskreten Exponentialsignal.

Übertragungsfaktor zeitdiskreter Systeme

$$H(z = e^{j\Omega}) = H(j\Omega) \text{ mit } \Omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f}{f_A}$$

Beispiel:

$$H(z) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 + 0,8 \cdot z^{-1}} = H(j\Omega) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 + 0,8 \cdot e^{-j\Omega}}$$

oder

$$H(z) = \frac{1}{2} \cdot \frac{z}{z + 0,8} = H(j\Omega) = \frac{1}{2} \cdot \frac{e^{j\Omega}}{e^{j\Omega} + 0,8}$$

Inhalt 2 3 4 5 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Frequenzgang zeitdiskreter Systeme

### Eigenschaften

$H(j\Omega)$  ist eine komplexe Funktion wobei  $\Omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f}{f_A}$  periodisch ist.

$$H(j\Omega) = |H(j\Omega)| \cdot e^{j\varphi(\Omega)} \quad (\text{Betrags- und Phasenverlauf})$$

Aus der Lage der Pole und Nullstellen erhält man die Verläufe von  $H(j\Omega)$  und damit die Art des Filters (Tiefpass, Hochpass, Bandpass, Bandsperre, Allpass).

Der Frequenzbereich ergibt sich aus dem Abtasttheorem  $f_g = \frac{f_A}{2}$

bzw.  $f_A = 2 \cdot f_g$  wenn:  $\Omega_g = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f}{f_A} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_g}{2 \cdot f_g} = \pi$

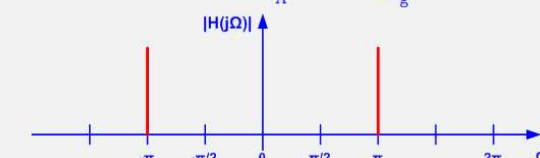


Abbildung 18: Nutzfrequenzbereich zeitdiskreter Systeme

Inhalt 1 3 4 5 6

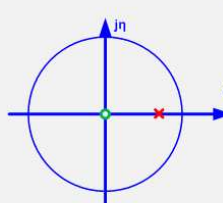
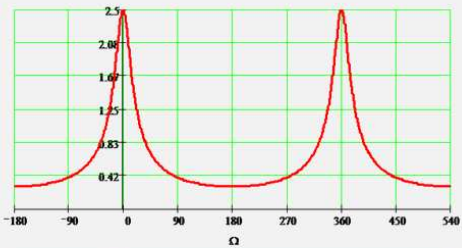
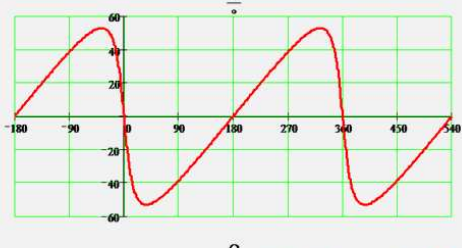
Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Frequenzgang zeitdiskreter Systeme

### Beispiele digitale Filter, Pol und Nullstellenpläne

Tiefpass 1ter Ordnung

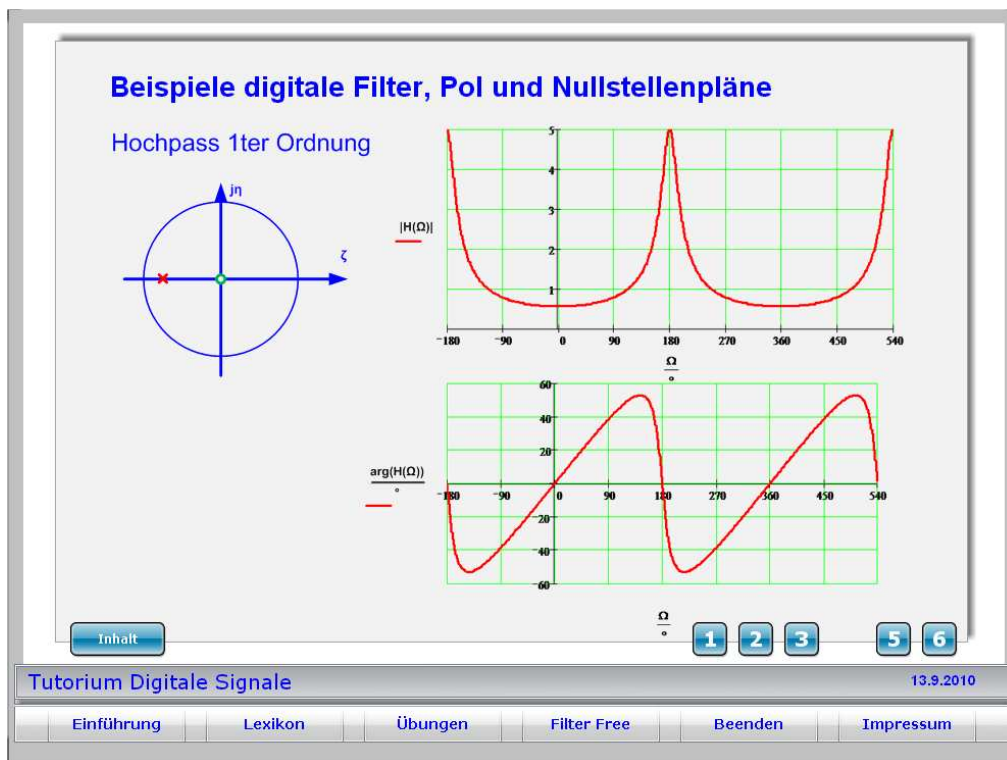




Inhalt 1 2 4 5 6

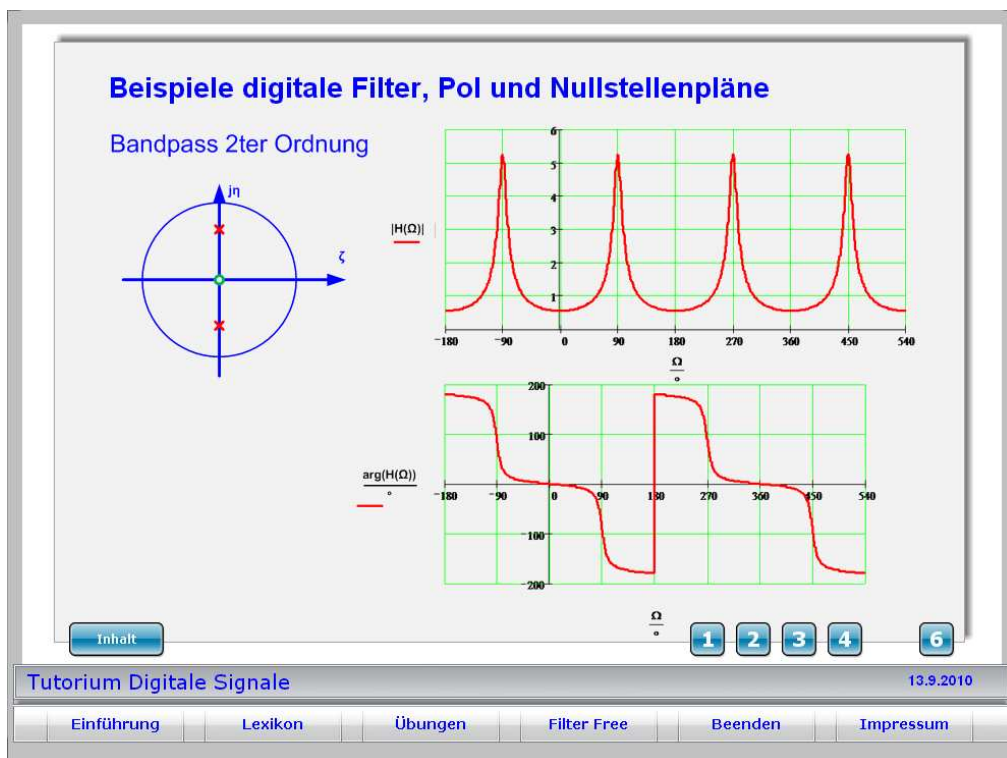
Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

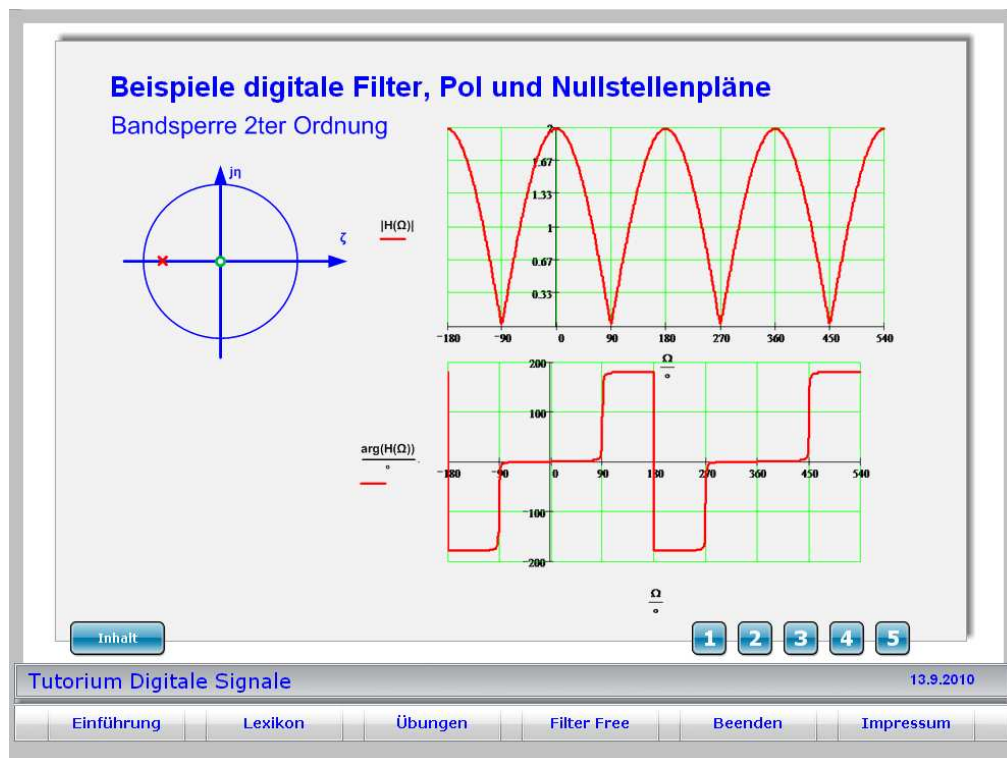
## Frequenzgang zeitdiskreter Systeme



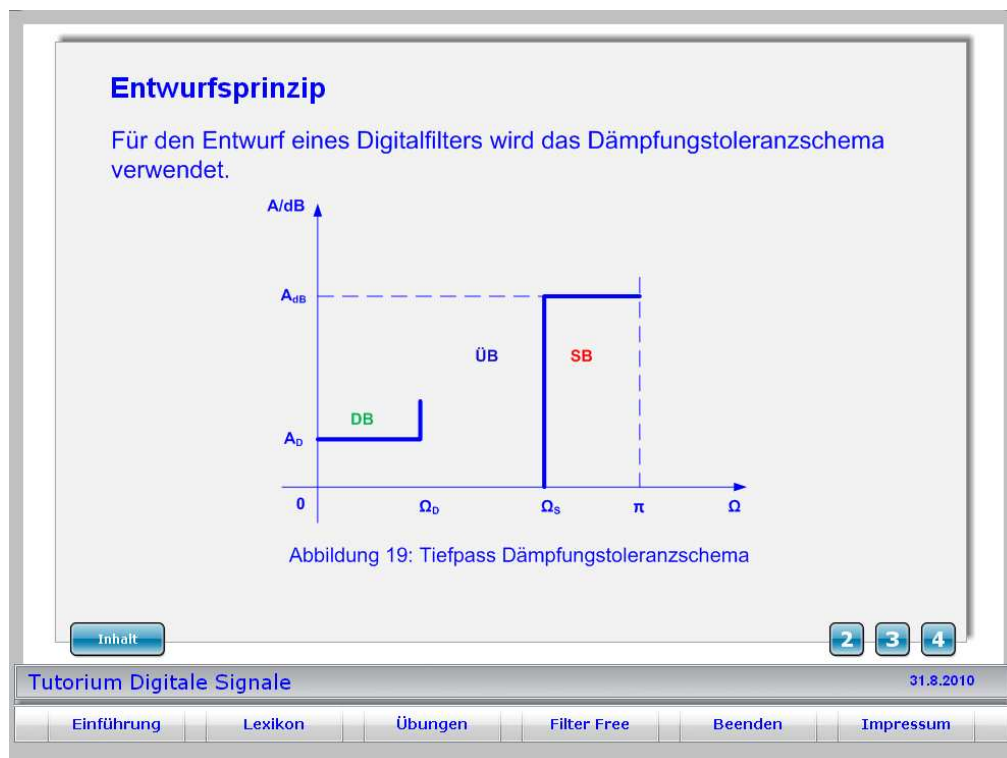
## Frequenzgang zeitdiskreter Systeme



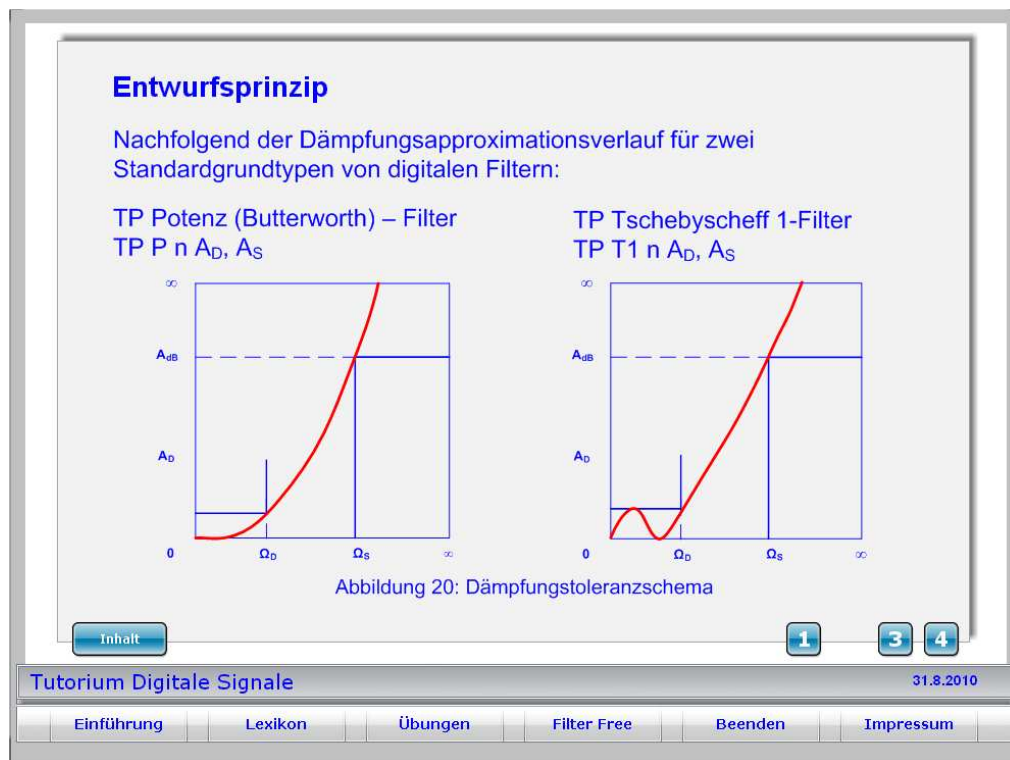
## Frequenzgang zeitdiskreter Systeme



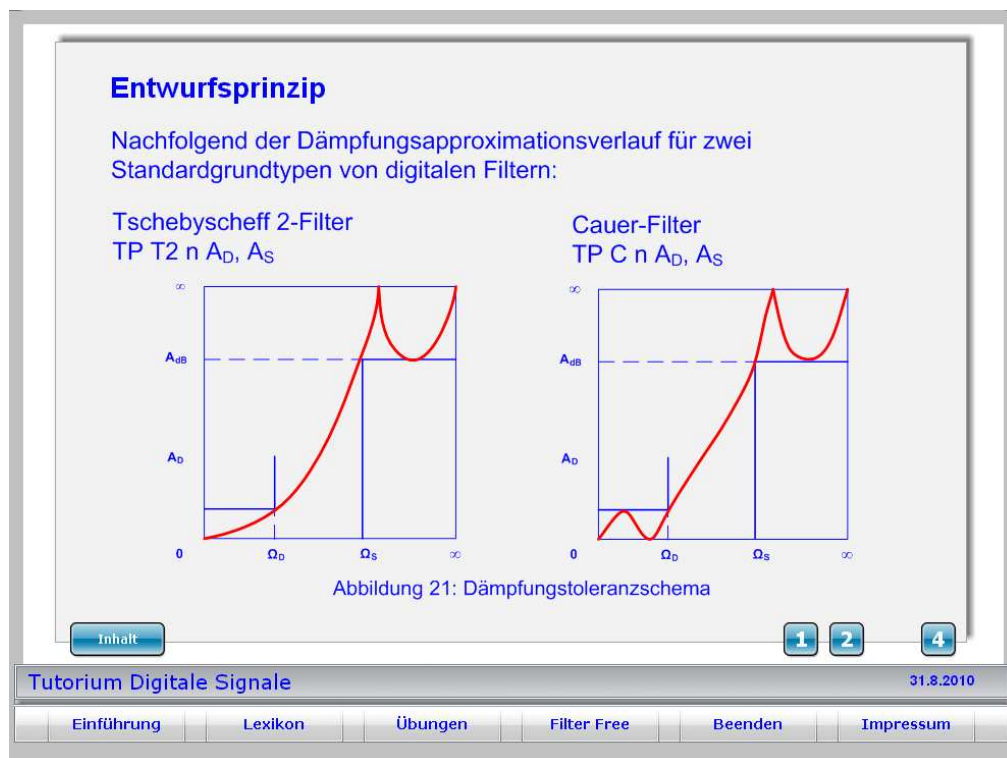
## Entwurfsprinzip



## Entwurfsprinzip



## Entwurfsprinzip





## Entwurfsprinzip

## Entwurfsprinzip

Es werden drei Entwurfsverfahren verwendet, um vom Analogfiltern zu Digitalfiltern zu gelangen:

- Impulsinvarianz
- Bilineare Transformation
- Filterentwurf mittels Fensterung

Die beiden ersten Verfahren werden für den Entwurf von IIR Filtern (Infinite Impuls Response), das letztgenannte Verfahren wird für den Entwurf von FIR Filtern (Finite Impuls Response) verwendet.

Inhalt

1
2
3

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung	Lexikon	Übungen	Filter Free	Beenden	Impressum
------------	---------	---------	-------------	---------	-----------

## Entwurf von IIR Filtern

## Impulsinvarianz

Bei diesem Verfahren soll die Gewichtsfunktion vom digitalen Filter  $h_d(kT_A)$  und vom analogen Filter  $h_a(t)$  zu den Abtastzeitpunkten  $t = kT_A$  übereinstimmen.

$$h_d(k) = h_a(k \cdot T_A)$$

Wenn vom analogen Filter die Übertragungsfunktion gebrochen rational ist, so kann man die Gewichtsfunktion als eine Summe von Partialbrüchen entwickeln.

$$H_a(p) = \sum_{i=1}^k \frac{A_i}{p - p_{xi}}$$

$$h_d(k) = h_a(t = k \cdot T_A) = \sum_{i=1}^k s(t) \cdot A_i \cdot e^{p_{xi} \cdot k \cdot T_A}$$

Bei einer endlichen Gewichtsfolge  $h_d(k)$  kann das FIR Filter direkt mit  $h_d(k)=b_i$  realisiert werden.

Inhalt

2
3
4
5
6

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung	Lexikon	Übungen	Filter Free	Beenden	Impressum
------------	---------	---------	-------------	---------	-----------

## Entwurf von IIR Filtern

### Impulsinvarianz

Normalerweise bekommt man eine unendliche Gewichtsfolge, das bedeutet den Einsatz eines IIR Filters.  
Dazu wird die Gewichtsfolge in den z-Bereich transformiert.

$$H(z) = \text{ZT} \{h_d(k)\} = \sum_{k=0}^{\infty} h_d(k) \cdot z^{-k} = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=1}^k s(k) \cdot z^{-k} \cdot A_i \cdot e^{p_{xi} \cdot k \cdot T_A}$$

Da  $s(k) = 1$  und  $k \geq 0$  ist, kann  $H(z)$  in nachfolgende Form gebracht werden:

$$H(z) = \sum_{i=1}^k A_i \sum_{k=0}^{\infty} (z^{-1} \cdot e^{p_{xi} \cdot T_A})^k$$

Inhalt
1
3
4
5
6

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung	Lexikon	Übungen	Filter Free	Beenden	Impressum
------------	---------	---------	-------------	---------	-----------

## Entwurf von IIR Filtern

### Impulsinvarianz

Daraus erhält man unter Nutzung der Summenformel für die unendliche geometrische Reihe, die für

$$|z^{-1} \cdot e^{p_{xi} \cdot T_A}| < 1 \quad \text{d. h. wenn} \quad |z| > |e^{p_{xi} \cdot T_A}| \text{ ist}$$

konvergiert, die nachstehende Gleichung wobei noch mit  $T_A$  multipliziert wurde.

$$H(z) = T_A \cdot \sum_{i=1}^k \frac{A_i}{1 - z^{-1} \cdot e^{p_{xi} \cdot T_A}} = T_A \cdot \sum_{i=1}^k \frac{A_i \cdot z}{z - e^{p_{xi} \cdot T_A}}$$

Inhalt
1
2
4
5
6

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung	Lexikon	Übungen	Filter Free	Beenden	Impressum
------------	---------	---------	-------------	---------	-----------

## Entwurf von IIR Filtern

### Bilineartransformation

Bei diesem Verfahren sollen die Übertragungsfunktionen vom digitalen Filter  $h_d(kT_A)$  und vom analogen Filter  $h_a(t)$  zu den Abtastzeitpunkten  $t = kT_A$  übereinstimmen.

$$z = e^{pT_A} \rightarrow p = \frac{1}{T_A} \cdot \ln z$$

Beispiel: Tiefpass 1. Ordnung

$$H_a(p) = \frac{1}{pT_1 + 1} \rightarrow H_d(z) = \frac{1}{\frac{T_1}{T_A} \cdot \ln z + 1}$$

Inhalt
1
2
3
5
6

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung	Lexikon	Übungen	Filter Free	Beenden	Impressum
------------	---------	---------	-------------	---------	-----------

## Entwurf von IIR Filtern

### Bilineartransformation

Mit dieser Methode erreicht man eine bessere Übereinstimmung der Übertragungsfaktoren. Die Übertragungsfunktion lässt sich nicht durch Strukturen mit endlich vielen Bauelementen realisieren. Deswegen wird eine Reihenentwicklung von  $\ln z$  durchgeführt.

$$\ln z = 2 \left[ \frac{z-1}{z+1} + \frac{1}{3} \left( \frac{z-1}{z+1} \right)^3 + \frac{1}{5} \left( \frac{z-1}{z+1} \right)^5 + \dots \right]$$

Da die Potenzen sehr klein sind, wird die Formel annäherungsweise auf folgende Form geändert:

$$\ln z \approx 2 \cdot \frac{z-1}{z+1}$$

Beispiel: Tiefpass 1ter Ordnung

$$H_d(z) = \frac{1}{\frac{T_1}{T_A} \cdot \ln z + 1} = \frac{1}{\frac{T_1}{T_A} \cdot 2 \cdot \frac{z-1}{z+1} + 1} = \frac{1}{\frac{2T_1}{T_A} \cdot \frac{(z-1) + z+1}{z+1}} = \frac{z+1}{\frac{2T_1}{T_A} \cdot (z-1) + z+1}$$

Inhalt
1
2
3
4
6

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung	Lexikon	Übungen	Filter Free	Beenden	Impressum
------------	---------	---------	-------------	---------	-----------



## Entwurf von IIR Filtern

### Zusammenfassung

Die Impulsinvarianz ist geeignet ein Digitalfilter zu entwerfen, dessen Gewichtsfolge mit der diskretisierten Gewichtsfolge des äquivalenten Analogfilters übereinstimmt.

Mit der Bilineartransfunktion hat das Digitalfilter das gleiche Frequenzverhalten wie das äquivalente Analogfilter. Dadurch werden die Pole in das Innere des Einheitskreises der z- Ebene abgebildet und aus diesem Grund ist das erhaltene Filter stabil.

$$p = \frac{2}{T_A} \cdot \frac{z - 1}{z + 1}$$

Die vorgenommene Abbildung der  $j\omega$  Achse auf den Einheitskreis  $e^{j\Omega}$  ist dabei nicht linear.

Setzt man  $z = e^{j\Omega}$  so wird die Formel wie folgt abgewandelt:

$$j\omega = \frac{2}{T_A} \cdot \frac{e^{j\Omega} - 1}{e^{j\Omega} + 1} = \frac{2}{T_A} \cdot \frac{e^{j\frac{\Omega}{2}} - e^{-j\frac{\Omega}{2}}}{e^{j\frac{\Omega}{2}} + e^{-j\frac{\Omega}{2}}} \Rightarrow \omega = \frac{2}{T_A} \cdot \tan\left(\frac{\Omega}{2}\right)$$

Inhalt
1
2
3
4
5

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung	Lexikon	Übungen	Filter Free	Beenden	Impressum
------------	---------	---------	-------------	---------	-----------

## Grundlegendes beim Entwurf von FIR Filtern

### Entwurf von FIR Filtern - Grundlegendes

FIR Filter haben eine endliche Gewichtsfolge mit der Länge  $M+1$ .

$$\{h(k)\} = \{b_0, b_1, b_2, \dots, b_M\}$$

Daraus ergibt sich die Übertragungsfunktion:

$$H(z) = b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2} + \dots + b_M \cdot z^{-M}$$

$$H(z) = \frac{b_0 \cdot z^M + b_1 \cdot z^{M-1} + b_2 \cdot z^{M-2} + \dots + b_M}{z^M}$$

Aus dieser Formel ist ersichtlich, dass alle Pole bei  $z_x = 0$  liegen. Das bedeutet, dass FIR Filter immer stabil sind, da deren Struktur nicht rekursiv ist.

Linearphasige FIR Filter haben keine Laufzeitverzerrungen, da ihre Gruppenlaufzeit konstant ist.

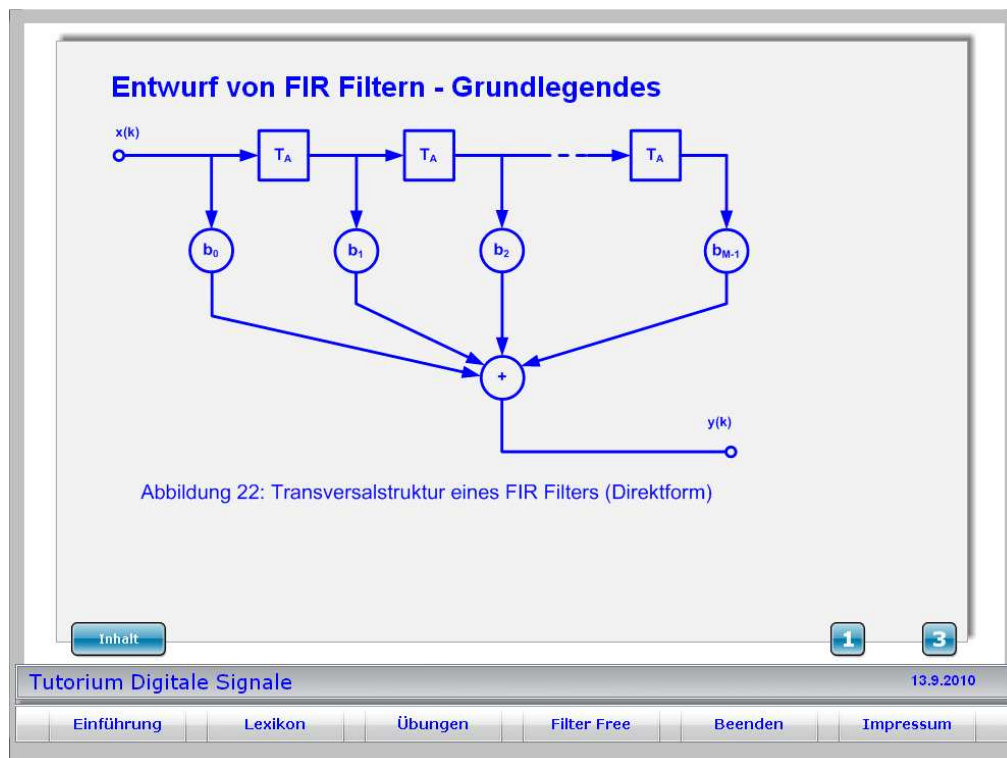
$$\tau_{gr}(\Omega) = \frac{M-1}{2} \cdot T_A$$

Inhalt
2
3

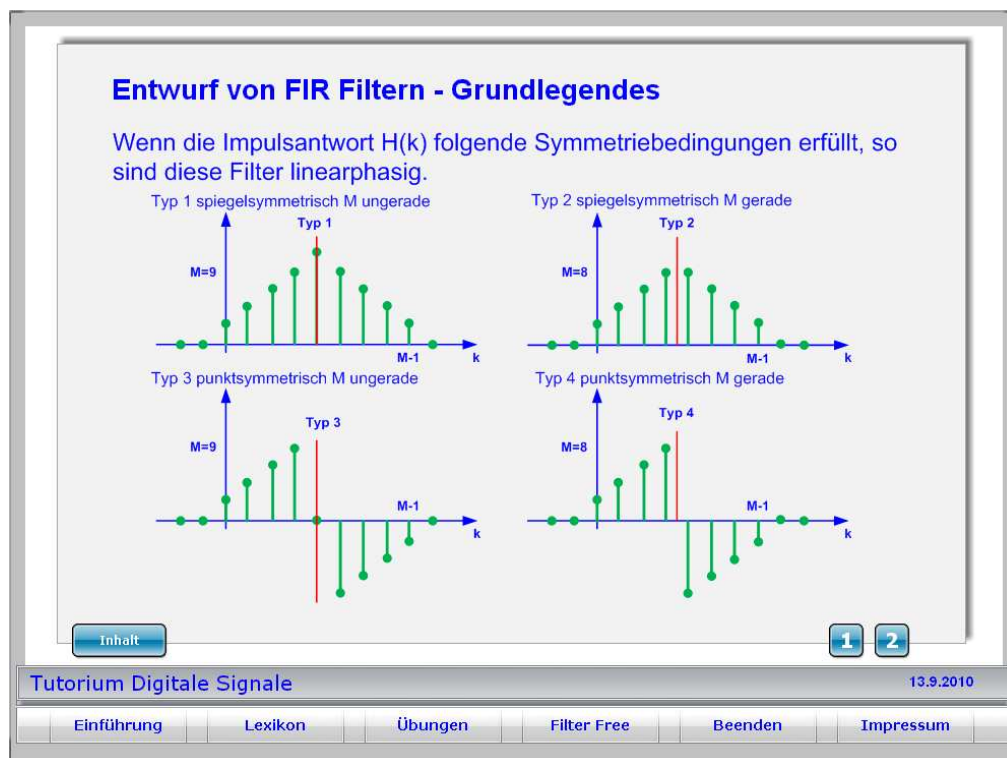
Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung	Lexikon	Übungen	Filter Free	Beenden	Impressum
------------	---------	---------	-------------	---------	-----------

## Grundlegendes beim Entwurf von FIR Filtern



## Grundlegendes beim Entwurf von FIR Filtern

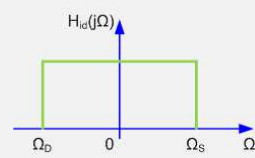


## FIR Filterentwurf durch Fensterung

### FIR Filterentwurf durch Fensterung

Anhand eines idealen Tiefpassfilters wird die Entwurfsmethode näher untersucht.

Abbildung 23:  
Amplitudengang eines idealen Tiefpass Filters



$$h_{id}(k) = \text{FT}^{-1}\{H_{id}(j\Omega)\} = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\Omega_D}^{\Omega_D} 1 \cdot e^{j\Omega \cdot k} d\Omega = \frac{\Omega_D}{\pi} \cdot \text{si}(\Omega_D \cdot k)$$

Da bei einem idealen Tiefpass die Gewichtsfolge unendlich lang ist, kann damit ein FIR Filter nicht realisiert werden. Damit dies möglich ist, muss die Gewichtsfolge auf  $M+1$  Werte begrenzt werden. Es ist außerdem eine Zeitverschiebung um  $M/2$  Werte nach rechts erforderlich, um ein kausales System zu erhalten.

$$h_{rec}(k) = \frac{\Omega_D}{\pi} \cdot \text{si}[\Omega_D \cdot (n - \frac{M}{2})]$$

Inhalt 2 3 4 5 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## FIR Filterentwurf durch Fensterung

### FIR Filterentwurf durch Fensterung

Abbildung 24:  
Gewichtsfolge eines idealen Tiefpasses

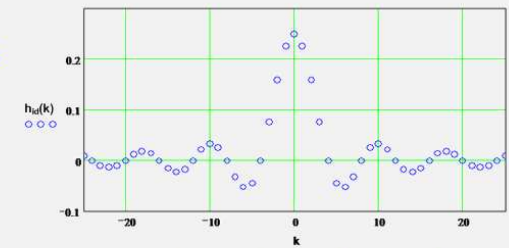
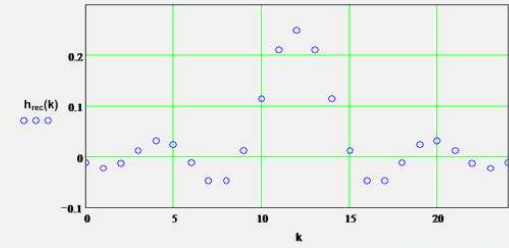


Abbildung 25:  
Begrenzung der Gewichtsfolge auf M Werte



Inhalt 1 3 4 5 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## FIR Filterentwurf durch Fensterung

**FIR Filterentwurf durch Fensterung**

Die Begrenzung der Gewichtsfolge hat auch eine Veränderung des Frequenzganges zur Folge.

Abbildung 26:  
Amplitudengang bei  
Begrenzung der Gewichtsfolge  
auf M Werte

Der Übergangsbereich hat nun einen kontinuierlichen Verlauf.  
Der Amplitudengang weist eine erhebliche Welligkeit im Durchlass und im Sperrbereich auf.

Inhalt 1 2 4 5 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## FIR Filterentwurf durch Fensterung

**FIR Filterentwurf durch Fensterung**

Die vorgenommene Fourierapproximation des Frequenzganges approximiert diesen mit minimalen quadratischen Fehlern.

Abbildung 27:  
Magnitude des  
Amplitudenganges

Die Begrenzung der Gewichtsfolge erhält man als Multiplikation der unendlichen Gewichtsfolge des idealen Tiefpasses mit der Fensterfunktion eines Rechteckfensters.

$$h_{\text{rec}}(k) = h_{\text{id}}\left(k - \frac{M}{2}\right) \cdot w_{\text{rec}}(k) \quad w_{\text{rec}}(k) = \begin{cases} 1, & 0 \leq k \leq M \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

Inhalt 1 2 3 5 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

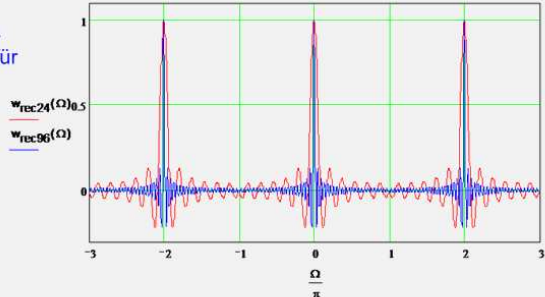


## FIR Filterentwurf durch Fensterung

### FIR Filterentwurf durch Fensterung

Der Frequenzgang ist die Faltung des Frequenzganges des idealen Tiefpasses mit dem periodischen Frequenzgang der Fensterfunktion.

Abbildung 28:  
Frequenzgang des Rechteckfensters für 2 Filtergrade



Durch die Erhöhung des Filtergrades wird  $w_{\text{rec}}(\Omega)$  gestaucht, aber die Höhe der Überschwungung wird dabei nicht geändert.

Inhalt 1 2 3 4 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## FIR Filterentwurf durch Fensterung

### FIR Filterentwurf durch Fensterung

Der Hauptmangel des Rechteckfensters besteht in der großen Welligkeit des Frequenzganges im Durchlass- und Sperrbereich. Mit dem Filtergrad  $M$  werden nur die Flankensteilheit und damit die Breite des Übergangsbereiches beeinflusst.

Eine Verbesserung des Selektionsverhaltens wird erzielt, wenn die Fensterfunktion keinen abrupten Übergang aufweist. Aus diesem Grund werden für den Entwurf von FIR Filtern andere Fensterformen wie z.B.: das Hanning-Fenster, das Bartlett-Fenster, das Hamming- und das Kaiser-Fenster verwendet.



Abbildung 29: Hanning-Fenster, Gewichtsfolge Hanning Tiefpass und Vergleich Magnitude Rechteck - Hanningfenster

Inhalt 1 2 3 4 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Übersicht Übungen

**1. Analog Digital Umsetzung**

- Aufgabe 1.1: Digitalisierung eines Audiosignals
- Aufgabe 1.2: Digitalisierung eines Fernsprechsingals
- Aufgabe 1.3: Digitalisierung eines analogen Signals
- Aufgabe 1.4: Diskussion zum Abtasttheorem

**2. Analyse digitaler Filter**

- Aufgabe 2.1: IIR Tiefpass 2ter Ordnung
- Aufgabe 2.2: IIR Bandpass - Bandsperre 2ter Ordnung
- Aufgabe 2.3: FIR Tiefpassfilter

**3. Entwurf digitaler Filter**

- Aufgabe 3.1: IIR Filter - Differenzengleichung
- Aufgabe 3.2: FIR - Transversalstruktur
- Aufgabe 3.3: FFT Kurzzeitspektralanalyse

**4. Signal und Systemanalyse**

- Aufgabe 4.1: IIR Filter
- Aufgabe 4.2: IIR Filterentwurf mittels Bilineartransformation

Tutorium Digitale Signale
31.8.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

## Aufgabe: Digitalisierung eines Audiosignals

**Analog Digital Umsetzung**

**Aufgabe 1.1 – Digitalisierung eines Audiosignals**

Gegeben ist ein Audiosignal mit der Bandbreite von 20Hz bis 20000 Hz.  
Der Dynamikumfang beträgt 100 dB.

Bestimmen Sie die Abtastrate  $f_A$  und die Binärwortbreite  $I$  bei Ausschöpfung der Signaldynamik und dem kleinstmöglichen Aliasing (Bandüberlappungseffekt).

Hinweis:  
Auswahl von  $f_A$  aus standardisierten Werten  $\rightarrow$  32 41,1 oder 48 kHz  
Auswahl  $I$  aus  $\rightarrow$  16, 18, 20 oder 24 Bit

Tutorium Digitale Signale
31.8.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

## Lösung: Digitalisierung eines Audiosignals

### Lösung Aufgabe 1.1

a) Abtastrate  $f_A$   
 $f_A > 2 \cdot f_g > 20\text{kHz} \cdot 2 > 40\text{kHz}$   
 $f_A$  aus standardisierten Werten  
41,1kHz und 48 kHz möglich  
geringstes Aliasing bei 48 kHz gewählt

b) Binärwortbreite  $I$   
 $D = 20 \cdot \lg 2I > 100 \text{ dB}$   
 $D = 6,02 I > 100 \text{ dB}$   
 $I \geq \frac{100 \text{ dB}}{6,02} = 16,6$   
Gewählt  $I = 18 \text{ Bit}$

Inhalt Aufgabe

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Aufgabe: Digitalisierung eines Audiosignals

### Analog - Digital Umsetzung

#### Aufgabe 1.2 – Digitalisierung eines Audiosignals

Gegeben ist ein Fernsprechsinal mit der Bandbreite von 300 Hz bis 3400 Hz.

a) Welche Abtastrate ist mindestens erforderlich?

b) Bestimmen Sie die Binärwortbreite  $I$  wenn der Quantisierungsgeräuschabstand  $> 40 \text{ dB}$  gefordert ist

c) Ermitteln Sie die Bitrate des digitalen Sprachsignals

Inhalt Lösung

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: Digitalisierung eines Audiosignals

**Lösung Aufgabe 1.2**

a) Abtastrate  $f_A$   
 $f_A > 2 \cdot f_g > 3400\text{Hz} \cdot 2 > 6800\text{Hz}$   
gewählt  $f_A = 8000\text{Hz}$

b) Binärwortbreite  $I$   

$$I \geq \frac{\text{SQNR} + 7,27}{6,02} = \frac{40\text{dB} + 7,27}{6,02} = 7,85$$
  
gewählt  $I = 8 \text{ Bit}$

b) Bitrate  $R$   
 $R = I \cdot f_A = 8\text{Bit} \cdot 8\text{kHz} = 64\text{kBit/s}$

Inhalt Aufgabe

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Aufgabe: Digitalisierung eines analogen Signals

**Analog - Digital Umsetzung**

**Aufgabe 1.3 – Digitalisierung eines analogen Signals**

Gegeben ist ein mittelwertfreies Signal  $\overline{u(t)} = 0$  mit einer Effektivspannung  $U_{\text{eff}} = 20 \text{ mV}$  und einer Grenzfrequenz  $f_g = 15 \text{ kHz}$ . Der A/D Wandler hat eine Spannung von  $u_{\text{max}} = 5\text{V}$ .

a) Binärwortlänge  $I$  der A/D Umsetzung, wenn mindestens 50 dB Signal - Quantisierungsgeräusch Abstand gefordert ist

b) Abtastrate  $f_A$  und Dämpfungstoleranzschema des Filters  $H_{aa}(f)$

Richtmaß für Aliasingunterdrückung:

$$A = 20 \lg \frac{|H_{aa}(f_g)|}{|H_{aa}(f_A - f_g)|} > D = 6,02 \cdot I \text{ in dB}$$

Inhalt Lösung

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum



## Lösung: Digitalisierung eines analogen Signals

**Lösung Aufgabe 1.3**

a) Binärwortbreite  $I$

$$I \geq \frac{\text{SQNR} + 7,27}{6,02} = \frac{50\text{dB} + 7,27}{6,02} = 9,51$$

gewählt  $I = 10$  Bit

a) Abtastrate  $f_A$

$$2 \cdot f_g < f_A < 10 \cdot f_g$$

In der Praxis ist immer ein Kompromiss zwischen Filteraufwand und Abtastrate erforderlich.

Inhalt Aufgabe 2

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: Digitalisierung eines analogen Signals

**Lösung Aufgabe 1.3**

b) Dämpfungstoleranzschema

$A > 6,02 \cdot I = 60,2\text{dB}$

Inhalt Aufgabe 1

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Aufgabe: Diskussion zum Abtasttheorem

**Analog - Digital Umsetzung**

**Aufgabe 1.4 – Diskussion zum Abtasttheorem**

Gegeben ist das analoge Signal:

$$u(t) = \cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t) + \cos(2\pi f_3 t)$$

Der Rekonstruktionsfilter ist ein idealer Tiefpass mit  $f_{gTP} = 3000 \text{ Hz}$

a) Abtastrate  $f_A$  und Spektrum der Abtastfolge  $u(kT_A)$   
bei den Frequenzen:  $f_1 = 250 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 1000 \text{ Hz}$ ,  $f_3 = 2500 \text{ Hz}$

b) Spektrums bei verletztem Abtasttheorem bei gleicher Abtastrate wie in Aufgabe a)  
die Frequenzen sind:  $f_1 = 500 \text{ Hz}$ ,  $f_2 = 1500 \text{ Hz}$ ,  $f_3 = 3500 \text{ Hz}$

Inhalt Lösung

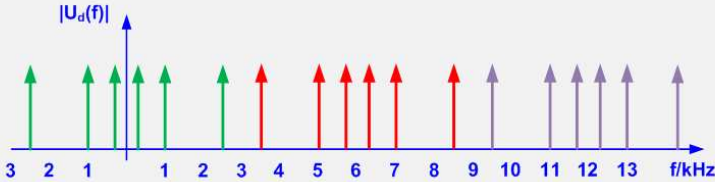
Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: Diskussion zum Abtasttheorem

**Lösung Aufgabe 1.4**

a) Abtastrate und Spektrum  
 $f_A > 2 \cdot f_g > 2500 \text{ Hz} \cdot 2 > 5000 \text{ Hz}$   
gewählt  $f_A = 6000 \text{ Hz}$



Inhalt Aufgabe 2

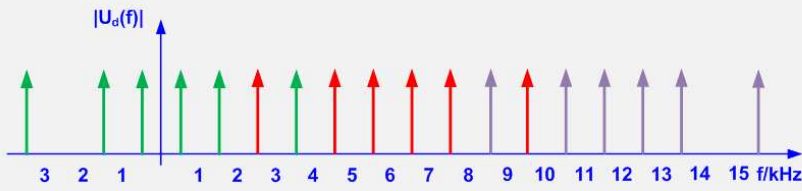
Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: Diskussion zum Abtasttheorem

**Lösung Aufgabe 1.4**

a) Unterabtastung  $f_A = 6000 \text{ Hz}$ ,  $f_{gTP} = 3000 \text{ Hz}$



Spektrale Überlappung  $\rightarrow$  Verfälschung des Signals aus dem Spektrum

$$u_R(t) = \cos(2\pi \cdot 500 \cdot t) + \cos(2\pi \cdot 1500 \cdot t) + \cos(2\pi \cdot 2500 \cdot t)$$

Inhalt Aufgabe 1

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Aufgabe: IIR Tiefpass 2ter Ordnung

**Analyse digitaler Filter**

**Aufgabe 2.1 – IIR Tiefpass 2ter Ordnung**

Differenzengleichung:

$$y(k) = -\frac{1}{4}y(k-2) + \frac{1}{4}x(k) + \frac{2}{4}x(k-1) + \frac{1}{4}x(k-2)$$

a) Kanonische Filterstrukturen Direktstruktur II  
 b) Impulsantwort  $\{h(k)\}$  für die ersten 5 Werte  
 c) Übertragungsfunktion  $H(z)$  und PN Plan  
 d) Frequenzgang  $H(\Omega)$  nach Betrag und Phase

Inhalt Lösung

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum



## Lösung: IIR Tiefpass 2ter Ordnung

**Lösung Aufgabe 2.1**

c) Übertragungsfunktion  $H(z)$

$$y(k) = -\frac{1}{4}y(k-2) + \frac{1}{4}x(k) + \frac{2}{4}x(k-1) + \frac{1}{4}x(k-2)$$

$$Y(z) = -\frac{1}{4}Y(z) \cdot z^{-2} + \frac{1}{4}X(z) + \frac{2}{4}X(z) \cdot z^{-1} + \frac{1}{4}X(z) \cdot z^{-2}$$

$$Y(z) \cdot (1 + \frac{1}{4} \cdot z^{-2}) = X(z) \cdot (\frac{1}{4} + \frac{2}{4} \cdot z^{-1} + \frac{1}{4} \cdot z^{-2})$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{(\frac{1}{4} + \frac{2}{4} \cdot z^{-1} + \frac{1}{4} \cdot z^{-2})}{(1 + \frac{1}{4} \cdot z^{-2})}$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{(1 + 2 \cdot z^{-1} + z^{-2})}{(4 + z^{-2})}$$

Inhalt Aufgabe 1 2 4 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: IIR Tiefpass 2ter Ordnung

**Lösung Aufgabe 2.1**

Polstellen:

$$4 + z^{-2} = 0$$

$$4 \cdot z^2 + 1 = 0$$

$$z_{x1,2} = \pm j \cdot \sqrt{\frac{1}{4}}$$

$$z_{x1,2} = \pm j \cdot \frac{1}{2}$$

Nullstellen:

$$1 + 2 \cdot z^{-1} + z^{-2} = 0$$

$$z^2 + 2 \cdot z + 1 = 0$$

$$z_{01,2} = -1 \pm \sqrt{\frac{4}{4} - 1}$$

$$z_{01,2} = -1 \pm \sqrt{0}$$

$$z_{01,2} = -1$$

● Nullstelle  
 × Polstelle

Inhalt Aufgabe 1 2 3 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: IIR Tiefpass 2ter Ordnung

**Lösung Aufgabe 2.1**

c) Frequenzgang  $H(\Omega)$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{(1 + 2 \cdot z^{-1} + z^{-2})}{(4 + z^{-2})} \quad \text{man ersetzt} \quad z = e^{j\Omega}$$

$$H(j\Omega) = \frac{(1 + 2 \cdot e^{-j\Omega} + e^{-j2\Omega})}{(4 + e^{-j2\Omega})}$$

$$|H(\Omega)| = \sqrt{\frac{[1 + 2\cos(\Omega) + \cos(2\Omega)]^2 + [2\sin(\Omega) + \sin(2\Omega)]^2}{[4 + \cos(2\Omega)]^2 + [\sin(2\Omega)]^2}}$$

$$\varphi = \arctan \frac{\sin(2\Omega)}{4 + \cos(2\Omega)} - \arctan \frac{2\sin(\Omega) + \sin(2\Omega)}{1 + 2\cos(\Omega) + \cos(2\Omega)}$$

Inhalt Aufgabe

1 2 3 4

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Aufgabe: IIR Bandpass bzw. Bandsperre 2ter Ordnung

**Analyse digitaler Filter**

**Aufgabe 2.2 – IIR Bandpass bzw. Bandsperre 2ter Ordnung**

Differenzengleichung:

$$1.) \quad y(k) = -\frac{1}{4}y(k-2) + \frac{1}{4}x(k) - \frac{1}{4}x(k-2)$$

$$2.) \quad y(k) = -\frac{1}{4}y(k-2) + \frac{2}{4}x(k) + \frac{2}{4}x(k-2)$$

a) PN Plan und Frequenzgang

b) Impulsantwort  $\{h(k)\}$  anhand rekursiver Auswertung der Differenzengleichung

Inhalt Lösung

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum



## Lösung: IIR Bandpass bzw. Bandsperre 2ter Ordnung

**Lösung Aufgabe 2.2**

Bandpass:

$$y(k) = -\frac{1}{4}y(k-2) + \frac{1}{4}x(k) - \frac{1}{4}x(k-2)$$

$$Y(z) = -\frac{1}{4}Y(z) \cdot z^{-2} + \frac{1}{4}X(z) - \frac{1}{4}X(z) \cdot z^{-2}$$

$$Y(z) \cdot (1 + \frac{1}{4} \cdot z^{-2}) = X(z) \cdot (\frac{1}{4} - \frac{1}{4} \cdot z^{-2})$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{(\frac{1}{4} - \frac{1}{4} \cdot z^{-2})}{(1 + \frac{1}{4} \cdot z^{-2})} = \frac{(1 - z^{-2})}{(4 + z^{-2})}$$

Inhalt Aufgabe 2 3 4 5 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: IIR Bandpass bzw. Bandsperre 2ter Ordnung

**Lösung Aufgabe 2.2**

Nullstelle:

$$1 - z^{-2} = 0$$

$$z^2 = 1$$

$$z_{0,1,2} = -1 / +1$$

Polstelle

$$4 + z^{-2} = 0$$

$$4 \cdot z^2 + 1 = 0$$

$$z_{x1,2} = \pm j \cdot \frac{1}{2}$$

Frequenzgang:

$$H(j\Omega) = \frac{(1 - e^{-j2\Omega})}{(4 + e^{-j2\Omega})} \quad \text{man ersetzt } z = e^{j\Omega}$$

$$|H(\Omega)| = \sqrt{\frac{[1 - \cos(2\Omega)]^2 + [\sin(2\Omega)]^2}{[4 + \cos(2\Omega)]^2 + [\sin(2\Omega)]^2}}$$

$$\varphi = \arctan \frac{\sin(2\Omega)}{4 + \cos(2\Omega)} - \arctan \frac{-\sin(2\Omega)}{1 - \cos(2\Omega)}$$

Inhalt Aufgabe 1 3 4 5 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: IIR Bandpass bzw. Bandsperre 2ter Ordnung

**Lösung Aufgabe 2.2**

b) Impulsantwort:

k	$h(k)$	=	$-\frac{1}{4} \cdot h(k-2)$	+	$\frac{1}{4} \cdot \delta(k)$	-	$\frac{1}{4} \cdot \delta(k-2)$
0	$\frac{1}{4}$	=	0	+	$\frac{1}{4}$	-	0
1	0	=	0	+	0	-	0
2	$-\frac{5}{16}$	=	$-\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} = -\frac{1}{16}$	+	0	-	$\frac{1}{4}$
3	0	=	$-\frac{1}{4} \cdot 0 = 0$	+	0	-	0
4	$\frac{5}{64}$	=	$-\frac{1}{4} \cdot -\frac{5}{16} = \frac{5}{64}$	+	0	-	0

Inhalt Aufgabe

1 2 4 5 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: IIR Bandpass bzw. Bandsperre 2ter Ordnung

**Lösung Aufgabe 2.2**

Bandsperre:

$$y(k) = -\frac{1}{4}y(k-2) + \frac{2}{4}x(k) + \frac{2}{4}x(k-2)$$

$$Y(z) = -\frac{1}{4}Y(z) \cdot z^{-2} + \frac{2}{4}X(z) + \frac{2}{4}X(z) \cdot z^{-2}$$

$$Y(z) \cdot (1 + \frac{1}{4} \cdot z^{-2}) = X(z) \cdot (\frac{2}{4} + \frac{2}{4} \cdot z^{-2})$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{(\frac{2}{4} + \frac{2}{4} \cdot z^{-2})}{(1 + \frac{1}{4} \cdot z^{-2})} = \frac{(2 + 2 \cdot z^{-2})}{(4 + z^{-2})}$$

Inhalt Aufgabe

1 2 3 5 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum



## Lösung: IIR Bandpass bzw. Bandsperre 2ter Ordnung

**Lösung Aufgabe 2.2**

Nullstelle:  $2 + 2 \cdot z^{-2} = 0$   
 $z^2 = -1$   
 $z_{0,2} = \sqrt{-1} = \pm j$

Polstelle:  $4 + z^{-2} = 0$   
 $4 \cdot z^2 + 1 = 0$   
 $z_{x1,2} = \pm j \cdot \frac{1}{2}$

Frequenzgang:  
 $H(j\Omega) = \frac{(2 + 2 \cdot e^{-j2\Omega})}{(4 + e^{-j2\Omega})}$  man ersetzt  $z = e^{j\Omega}$

$$|H(\Omega)| = \sqrt{\frac{[2 + 2 \cdot \cos(2\Omega)]^2 + [2 \cdot \sin(2\Omega)]^2}{[4 + \cos(2\Omega)]^2 + [\sin(2\Omega)]^2}}$$

$$\varphi = \arctan \frac{\sin(2\Omega)}{4 + \cos(2\Omega)} - \arctan \frac{2 \cdot \sin(2\Omega)}{2 + 2 \cdot \cos(2\Omega)}$$

Inhalt Aufgabe 1 2 3 4 6

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: IIR Bandpass bzw. Bandsperre 2ter Ordnung

**Lösung Aufgabe 2.2**

b) Impulsantwort:

k	$h(k)$	=	$-\frac{1}{4} \cdot h(k-2)$	+	$\frac{2}{4} \cdot \delta(k)$	+	$\frac{2}{4} \cdot \delta(k-2)$
0	$\frac{2}{4}$	=	0	+	$\frac{2}{4}$	+	0
1	0	=	0	+	0	+	0
2	$\frac{6}{16}$	=	$-\frac{1}{4} \cdot \frac{2}{4} = -\frac{2}{16}$	+	0	+	$\frac{2}{4}$
3	0	=	$-\frac{1}{4} \cdot 0 = 0$	+	0	+	0
4	$-\frac{6}{64}$	=	$-\frac{1}{4} \cdot \frac{6}{16} = -\frac{6}{64}$	+	0	+	0

Inhalt Aufgabe 1 2 3 4 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Aufgabe: FIR Tiefpassfilter

### Analyse digitaler Filter

#### Aufgabe 2.3 – FIR – Tiefpassfilter

Differenzengleichung: 
$$y(k) = \sum_{m=0}^{M-1} b_m x(k-m)$$

mit: 
$$b_m = \frac{1}{2} \cdot \text{si} \cdot \left( \left[ m - \frac{M-1}{2} \right] \frac{\pi}{2} \right)$$

a) Impulsantwort  $\{h(k)\}$  für die Filterlängen  $M = 5$

b) Transversalfilterstruktur für  $M = 5$

Inhalt
Lösung

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

## Lösung: FIR Tiefpassfilter

### Lösung Aufgabe 2.3

a) Impulsantwort:

$$h(0) = \frac{1}{2} \cdot \text{si} \left[ \left( 0 - \frac{5-1}{2} \right) \cdot \frac{\pi}{2} \right] = \frac{1}{2} \cdot \text{si}(-\pi) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sin(-\pi)}{-\pi} = 0$$

$$h(1) = \frac{1}{2} \cdot \text{si} \left[ \left( 1 - \frac{5-1}{2} \right) \cdot \frac{\pi}{2} \right] = \frac{1}{2} \cdot \text{si} \left( -\frac{3\pi}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sin(-\frac{3\pi}{2})}{-\frac{3\pi}{2}} = 0,3183$$

$$h(2) = \frac{1}{2} \cdot \text{si} \left[ \left( 2 - \frac{5-1}{2} \right) \cdot \frac{\pi}{2} \right] = \frac{1}{2} \cdot \text{si}(0) = 0,5$$

$$h(3) = \frac{1}{2} \cdot \text{si} \left[ \left( 3 - \frac{5-1}{2} \right) \cdot \frac{\pi}{2} \right] = \frac{1}{2} \cdot \text{si} \left( \frac{\pi}{2} \right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sin(\frac{\pi}{2})}{\frac{\pi}{2}} = 0,3183$$

$$h(4) = \frac{1}{2} \cdot \text{si} \left[ \left( 4 - \frac{5-1}{2} \right) \cdot \frac{\pi}{2} \right] = \frac{1}{2} \cdot \text{si}(\pi) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sin(\pi)}{\pi} = 0$$

Inhalt
Aufgabe

2

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

## Lösung: FIR Tiefpassfilter

**Lösung Aufgabe 2.3**

b) Transversalstruktur

Inhalt Aufgabe 1

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Aufgabe: IIR Filter Differenzengleichung

**Entwurf digitaler Filter**

**Aufgabe 3.1**

Ein digitales Filter wird durch nachstehende Übertragungsfunktion beschrieben:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{0,1 + 0,2z^{-1} + 0,1z^{-2}}{1 - z^{-1} + 0,5z^{-2}} * \frac{0,3 + 0,3z^{-1}}{1 - 0,4z^{-1}}$$

Bestimmen Sie:

- zugehörige kaskadierte Filterstruktur (Transponierte der Direktform 2 verwenden!)
- zugehörige Differenzengleichung

Inhalt Lösung

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: IIR Filter Differenzengleichung

**Lösung Aufgabe 3.1**

a) zugehörige kaskadierte Filterstruktur:

Inhalt Aufgabe 2

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: IIR Filter Differenzengleichung

**Lösung Aufgabe 3.1**

b) Differenzengleichung

Aufteilung in zwei Teilstrukturen  $y_1$  und  $y_2$

$$Y_1(z) = Y_1(z) \cdot z^{-1} - 0,5Y_1(z) \cdot z^{-2} + 0,1X_1(z) + 0,2X_1(z) \cdot z^{-1} + 0,1X_1(z) \cdot z^{-2}$$

$$y_1(k) = y_1(k-1) - 0,5y_1(k-2) + 0,1x_1(k) + 0,2x_1(k-1) + 0,1x_1(k-2)$$

$$Y_2(z) = 0,4Y_2(z) \cdot z^{-1} + 0,3X_2(z) + 0,3X_2(z) \cdot z^{-1}$$

$$y_2(k) = 0,4y_2(k-1) + 0,3x_2(k) + 0,3x_2(k-1)$$

Faltung im Bildbereich ist Multiplikation im Zeitbereich

$$y(k) = y_1(k) \cdot y_2(k)$$

Inhalt Aufgabe 1

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Aufgabe: FIR Transversalstruktur

### Entwurf digitaler Filter

#### Aufgabe 3.2

Ein FIR Filter hat folgende Impulsantwort

$$\{h(k)\} = \{0,1; 0,2; 0,4; 0,5; 0,4; 0,2; 0,1\}$$

a) Geben Sie die zugehörige Transversalfilterstruktur an

b) Ist das Filter linearphasig? Begründung angeben

Inhalt Lösung

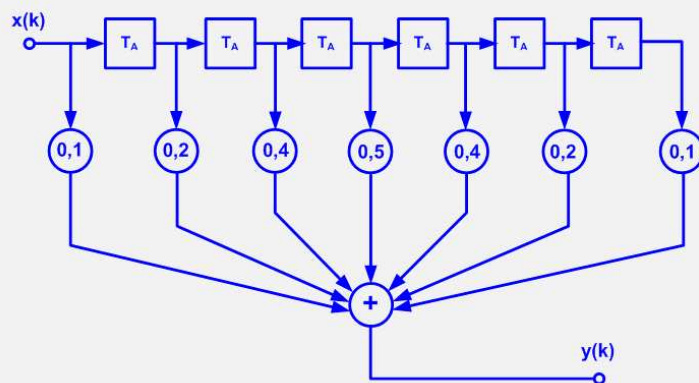
Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: FIR Transversalstruktur

### Lösung Aufgabe 3.2

a) Transversalstruktur



Inhalt Aufgabe 2

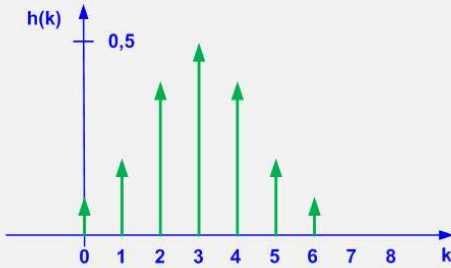
Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: FIR Transversalstruktur

**Lösung Aufgabe 3.2**

b) Linearphasig



Filter ist linearphasig  $\rightarrow$  M ist ungerade und Werte sind spiegelsymmetrisch

Inhalt Aufgabe

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Aufgabe: FFT Kurzzeitspektralanalyse

**Entwurf digitaler Filter**

**Aufgabe 3.3**

Ein Audiosignal  $x(t)$  wird mit Abtastrate  $f_A = 48$  kHz abgetastet und einer FFT Kurzzeit-Spektralanalyse bei Verwendung eines Rechteckfensters unterzogen.

Bestimmen Sie:

- Anzahl  $N$ , der für die FFT (Radix 2)- Analyse notwendigen Abtastwerte  $x(kT_A)$  je Segment, wenn für die spektrale Auflösung  $\Delta f < 100$  Hz gefordert ist
- die dann realisierte Auflösung  $\Delta f$  und den zugehörigen Frequenzwert  $f_n$  der  $n$ -ten Spektrallinie für  $n = 15$  und  $n = N - 15$

Inhalt Lösung

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum



## Lösung: FFT Kurzzeitspektralanalyse

**Lösung Aufgabe 3.3**

a) Anzahl N

$$N = \frac{f_A}{\Delta f} = \frac{48000\text{Hz}}{100\text{Hz}} = 480 \quad \Delta f < 100\text{Hz}$$

gewählt N = 512 (Radix 2 = Anzahl der Abtastwerte  $2^n$ )a)  $\Delta f$  realisiert und Frequenzwerte für n=15 und n= N-15

$$\Delta f = \frac{f_A}{N} = \frac{48000\text{Hz}}{512} = 93,75\text{Hz}$$

Frequenz für n=15

$$f_n = n \cdot \Delta f = 15 \cdot 93,75\text{Hz} = 1406,25\text{Hz}$$

Frequenz für n=N-15 (nicht relevant da negative Frequenz)

$$f_n = n \cdot \Delta f = (512 - 15) \cdot 93,75\text{Hz} = -1406,25\text{Hz}$$

Inhalt

Aufgabe

Tutorium Digitale Signale

13.9.2010

Einführung

Lexikon

Übungen

Filter Free

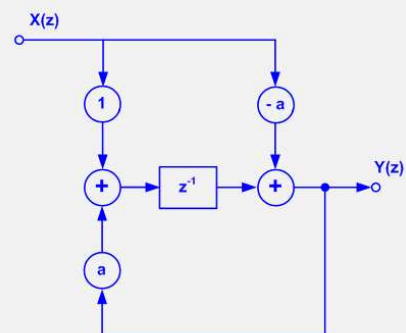
Beenden

Impressum

## Aufgabe: IIR Filter

**Signal und Systemanalyse****Aufgabe 4.1**

Gegeben ist ein IIR Filter 1ter Ordnung mit folgender Struktur:



Um welches Filter handelt es sich dabei ?

Inhalt

Lösung

Tutorium Digitale Signale

13.9.2010

Einführung

Lexikon

Übungen

Filter Free

Beenden

Impressum

## Lösung: IIR Filter

**Lösung Aufgabe 4.1**

Allpassverhalten

$$y(k) = ay(k-1) - ax(k) + x(k-1)$$

$$Y(z) = aY(z) \cdot z^{-1} + aX(z) + X(z) \cdot z^{-1}$$

$$Y(z)(1 - a(z) \cdot z^{-1}) = X(z)(z^{-1} - a)$$

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{z^{-1} - a}{1 - az^{-1}} = \frac{1 - az}{z - a}$$

Nullstelle:  $1 - az = 0 \rightarrow az = 1 \rightarrow z = \frac{1}{a}$

Polstelle:  $z - a = 0 \rightarrow z = a$

Inhalt Aufgabe 2 3

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: IIR Filter

**Lösung Aufgabe 4.1**

Allpassverhalten

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{z^{-1} - a}{1 - az^{-1}} \rightarrow H(\Omega) = \frac{e^{j\Omega} - a}{1 - a \cdot e^{j\Omega}}$$

$$|H(\Omega)| = \sqrt{\frac{(-a + \cos\Omega)^2 + (\sin\Omega)^2}{(1 + a \cdot \cos\Omega)^2 + (a \cdot \sin\Omega)^2}}$$

$$|H(\Omega)| = \sqrt{\frac{a^2 + 2 \cdot a \cdot \cos\Omega + (\cos\Omega)^2 + (\sin\Omega)^2}{1 + 2 \cdot a \cdot \cos\Omega + (a \cdot \cos\Omega)^2 + (a \cdot \sin\Omega)^2}}$$

$$|H(\Omega)| = \sqrt{\frac{a^2 + 2 \cdot a \cdot \cos\Omega + (\cos\Omega)^2 + (\sin\Omega)^2}{1 + 2 \cdot a \cdot \cos\Omega + a^2 \cdot [(\cos\Omega)^2 + (\sin\Omega)^2]}}$$

Inhalt Aufgabe 1 3

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum



## Lösung: IIR Filter

**Lösung Aufgabe 4.1**

Allpassverhalten

Nebenrechnung  $(\cos\Omega)^2 + (\sin\Omega)^2 = 1$

$$|G(\Omega)| = \sqrt{\frac{a^2 + 2 \cdot a \cdot \cos\Omega + 1}{1 + 2 \cdot a \cdot \cos\Omega + a^2 \cdot 1}}$$

$$|G(\Omega)| = \sqrt{\frac{1 + 2 \cdot a \cdot \cos\Omega + a^2}{1 + 2 \cdot a \cdot \cos\Omega + a^2}} = 1$$

Der Betrag der Amplitude ist 1 → Allpass, nur Phasenschieber

Inhalt Aufgabe 1 2

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Aufgabe: IIR Filterentwurf mittels Bilineartransformation

**Signal und Systemanalyse**

**Aufgabe 4.2**

Ein Integrierglied mit der Übertragungsfunktion  $H(p) = \frac{1}{pT_1}$

soll in ein zeitdiskretes Filter mit der z Übertragungsfunktion mittels Bilineartransformation abgebildet werden.

Ermitteln Sie:

- $H_d(z)$
- Struktur und Koeffizienten eines entsprechenden IIR-Filters  
Skizzieren Sie die Struktur
- Die Übergangsfolge wenn  $\frac{T_A}{T_1} = \frac{1}{10}$  ist
- PN-Plan – ist das Filter stabil?

Inhalt Lösung

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: IIR Filterentwurf mittels Bilineartransformation

**Lösung Aufgabe 4.2**

a)  $H_d(z)$

Bei der Bilineartransformation ist:  $p = \frac{2}{T_A} \cdot \frac{z-1}{z+1}$

$$H(p) = \frac{1}{pT_1} \rightarrow H(z) = \frac{1}{\frac{2T_1}{T_A} \cdot \frac{z-1}{z+1}} = \frac{z+1}{\frac{2T_1}{T_A} \cdot (z-1)}$$

Nullstellen:  $z+1=0 \rightarrow z_0 = -1$

Polstellen:  $\frac{2T_1}{T_A} \cdot (z-1) = 0 \rightarrow z-1=0 \rightarrow z_x = 1$

Inhalt Aufgabe

2 3 4 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: IIR Filterentwurf mittels Bilineartransformation

**Lösung Aufgabe 4.2**

b) Struktur und Koeffizienten

$$H(p) = \frac{1}{pT_1} = \frac{1}{T_1} \cdot \frac{1}{p}$$

$$H_a(p) = \frac{A_1}{p-p_x} \rightarrow A_1 = \frac{1}{T_1}; p_x = 0$$

$$H_d(z) = T_A \frac{\frac{1}{T_1} \cdot z}{z - e^{0 \cdot T_A}} = T_A \cdot \frac{\frac{1}{T_A} \cdot z}{z-1}$$

$$\Omega_g = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_g}{f_A}$$

$$H_d(z) = \frac{\Omega_g \cdot z}{z-1}$$

Inhalt Aufgabe

1 3 4 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: IIR Filterentwurf mittels Bilineartransformation

**Lösung Aufgabe 4.2**

b) Struktur und Koeffizienten

$$b_0 = \Omega_g = 2 \cdot \pi \cdot \frac{f_g}{f_A} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{10} = \frac{\pi}{5}$$

$$b_0 = \frac{\pi}{5}; \quad b_1 = 0; \quad -a_1 = 1$$

Inhalt Aufgabe 1 2 4 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung: IIR Filterentwurf mittels Bilineartransformation

**Lösung Aufgabe 4.2**

c) Übergangsfolge

$$y(k) = y(k-1) + \frac{\pi}{5} x(k)$$

k	$\ddot{u}(k)$	=	$\ddot{u}(k-1)$	+	$\frac{\pi}{5} \cdot s(k)$
0	$\frac{\pi}{5}$	=	0	+	$\frac{\pi}{5}$
1	$\frac{2\pi}{5}$	=	$\frac{\pi}{5}$	+	$\frac{\pi}{5}$
2	$\frac{3\pi}{5}$	=	$\frac{2\pi}{5}$	+	$\frac{\pi}{5}$
3	$\frac{4\pi}{5}$	=	$\frac{3\pi}{5}$	+	$\frac{\pi}{5}$
4	$\frac{5\pi}{5} = \pi$	=	$\frac{4\pi}{5}$	+	$\frac{\pi}{5}$

Inhalt Aufgabe 1 2 3 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

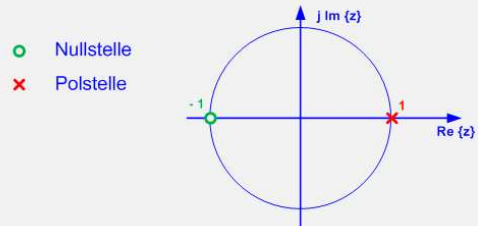
## Lösung: IIR Filterentwurf mittels Bilineartransformation

**Lösung Aufgabe 4.2**

d) PN - Plan

Nullstellen:  $z + 1 = 0 \rightarrow z_0 = -1$

Polstellen:  $\frac{2T_1}{T_A} \cdot (z - 1) = 0 \rightarrow z - 1 = 0 \rightarrow z_x = 1$



Filter ist instabil da sich die Polstelle genau auf dem Einheitskreis befindet.

Inhalt Aufgabe

1 2 3 4

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Übersicht Übungen mit Filter Free

# Übungen mit Filter Free

- 1. Infinite Impuls Response Filter**
  - Übung 1: IIR Filterentwurf mit Impulsinvarianz
  - Übung 2: IIR Filterentwurf mit Bilineartransformation
- 2. Finite Impuls Response Filter**
  - Übung 3: FIR Filterentwurf mit Fensterung
  - Übung 4: FIR Filterentwurf eines Remez Tiefpasses

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Übung 1

### Übung 1 Filter Free

Tiefpassfilter 1ter Ordnung soll mittels Impulsinvarianz in ein digitales Filter transferiert werden. Die Koeffizienten mit Filter Free nachkontrollieren. (Transferfunktion, Pol- und Nullstellen und die Magnitude)

$$H_a(p) = \frac{1}{pT_1 + 1}$$

Ermitteln Sie:

- die Koeffizienten
- die Pol- und Nullstellen

Inhalt
Lösung

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

## Lösung zu Übung 1

### Lösung Übung 1

$$H_a(p) = \frac{1}{pT_1 + 1} = \frac{\frac{1}{T_1}}{p + \frac{1}{T_1}}$$

$$\frac{A_1}{p - p_x} = \rightarrow A_1 = \frac{1}{T_1}; \quad p_{x1} = -\frac{1}{T_1}$$

$$H_d(z) = T_A \cdot \frac{\frac{1}{T_1} \cdot z}{z - e^{-\frac{T_A}{T_1}}} = \frac{\Omega_g \cdot z}{z - e^{-\Omega_g}} \rightarrow \Omega_g = 2\pi \frac{f_g}{f_A}$$

Inhalt
Übung

2
3
4
5

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

## Lösung zu Übung 1

**Lösung Übung 1**

Vorgabe:  $f_A = 10\text{kHz}$ ,  $f_g = 1\text{kHz}$

$$\Omega_g = 2\pi \frac{1}{10} = \frac{\pi}{5}$$

$$H_d(z) = \frac{\frac{\pi}{5} \cdot z}{z - e^{-j\frac{\pi}{5}}} = \frac{0,628 \cdot z}{z - 0,533}$$

Nullstellen:  
 $0,628 \cdot z = 0 \rightarrow z_0 = 0$

Polstellen:  
 $z - 0,533 = 0 \rightarrow z_x = 0,533$

Inhalt Übung

1 3 4 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung zu Übung 1

**Lösung Übung 1**

Einstellungen bei Filter Free



Inhalt Übung

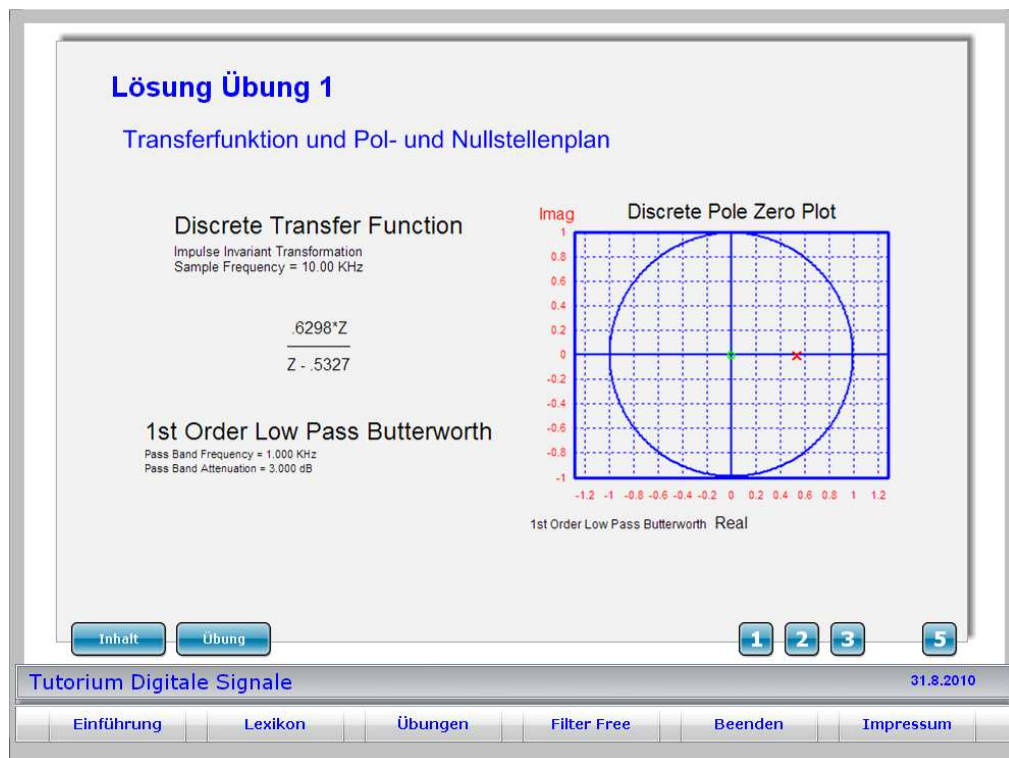
1 2 4 5

Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

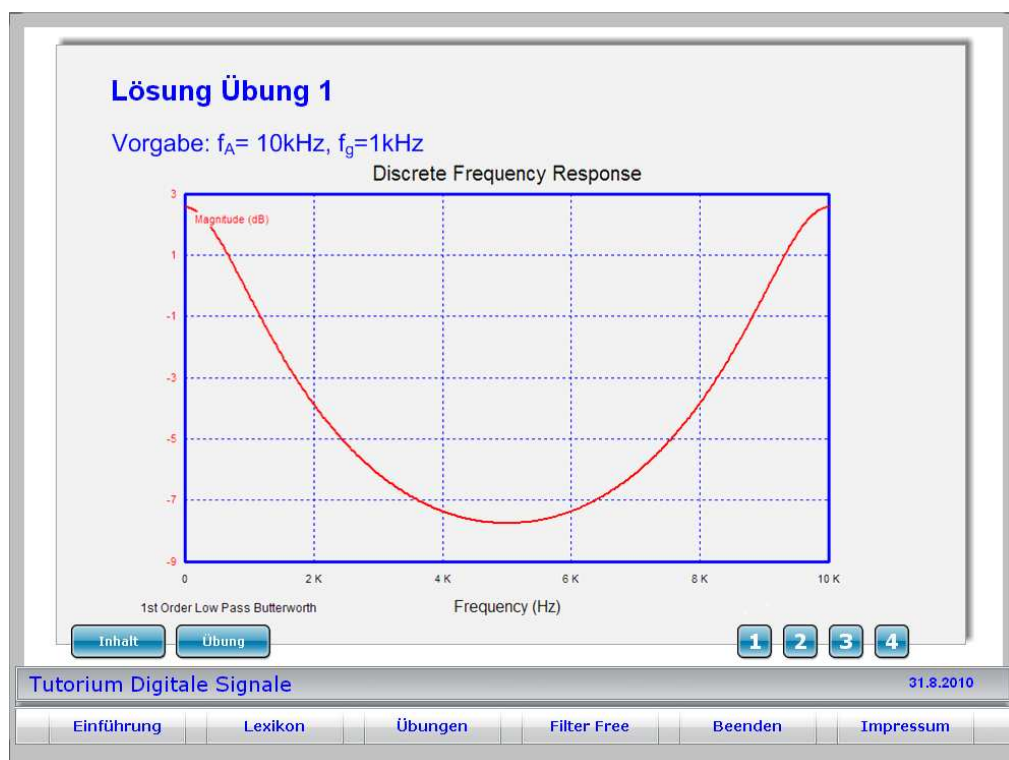
Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum



## Lösung zu Übung 1



## Lösung zu Übung 1



## Übung 2

### Übung 2 Filter Free

Tiefpassfilter 1ter Ordnung soll mittels Bilineartransformation in ein digitales Filter transferiert werden. Die Koeffizienten mit Filter Free nachkontrollieren. (Transferfunktion, Pol- und Nullstellen und die Magnitude)

$$H_a(p) = \frac{1}{pT_1 + 1}$$

Ermitteln Sie:

- die Koeffizienten
- die Pol- und Nullstellen

Inhalt
Lösung

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum

## Lösung zu Übung 2

### Lösung Übung 2

$$H_a(p) = \frac{1}{pT_1 + 1} \rightarrow p = \frac{2}{T_A} \cdot \frac{z-1}{z+1}$$

$$H_d(z) = \frac{1}{\frac{2T_1}{T_A} \cdot \frac{z-1}{z+1} + 1} = \frac{1}{\frac{2}{\Omega_g} \cdot \frac{z-1}{z+1} + \frac{\Omega_g(z+1)}{\Omega_g(z+1)}}$$

$$H_d(z) = \frac{\Omega_g(z+1)}{2(z-1) + \Omega_g(z+1)}$$

$$\rightarrow \Omega_g = 2\pi \frac{f_g}{f_A} = 2\pi \frac{1}{10} = \frac{\pi}{5}$$

$$H_d(z) = \frac{\frac{\pi}{5}(z+1)}{2(z-1) + \frac{\pi}{5}(z+1)} = \frac{\frac{\pi}{5}(z+1)}{2z - 2 + \frac{\pi}{5}z + \frac{\pi}{5}}$$

Inhalt
Übung

2
3
4
5

Tutorium Digitale Signale
13.9.2010

Einführung
Lexikon
Übungen
Filter Free
Beenden
Impressum



## Lösung zu Übung 2

**Lösung Übung 2**

Vorgabe:  $f_A = 10\text{kHz}$ ,  $f_g = 1\text{kHz}$

$$H_d(z) = \frac{\pi(z+1)}{10z - 10 + \pi \cdot z + \pi} = \frac{3,1415 \cdot (z+1)}{13,1416 \cdot z - 6,8584}$$

$$H_d(z) = \frac{0,239 \cdot z + 0,239}{z - 0,52188}$$

Nullstellen:  
 $0,239 \cdot z + 0,239 = 0 \rightarrow z_0 = -1$

Polstellen:  
 $z - 0,52188 = 0 \rightarrow z_x = 0,52188$

Inhalt Übung 1 3 4 5

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung zu Übung 2

**Lösung Übung 2**

Einstellungen bei Filter Free

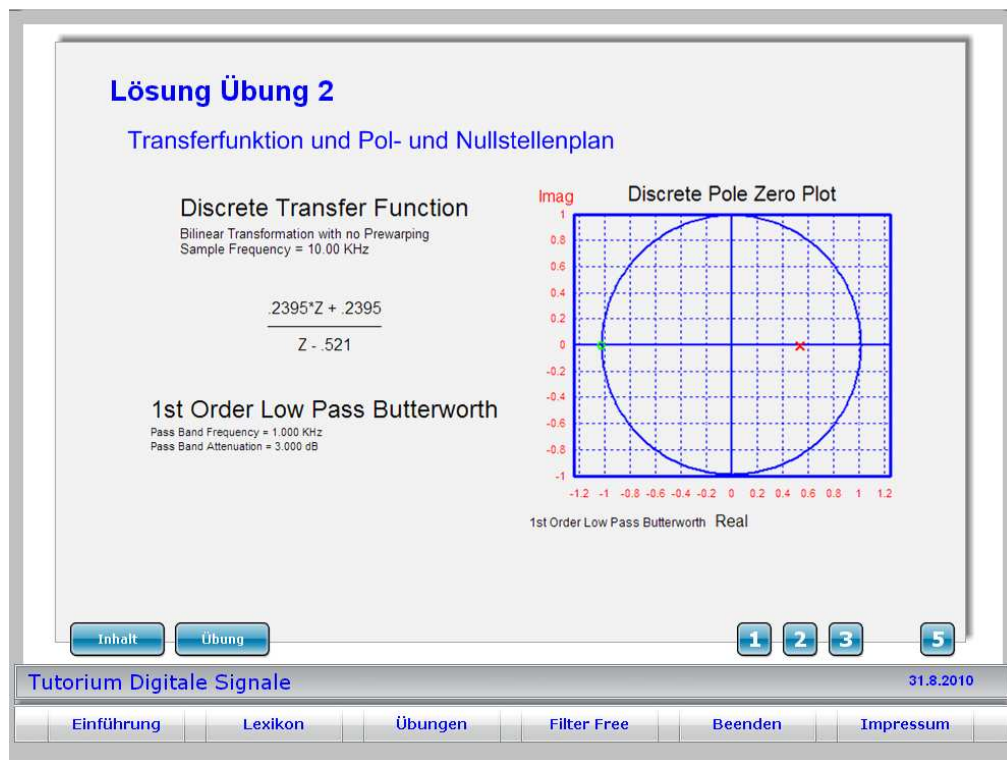


Inhalt Übung 1 2 4 5

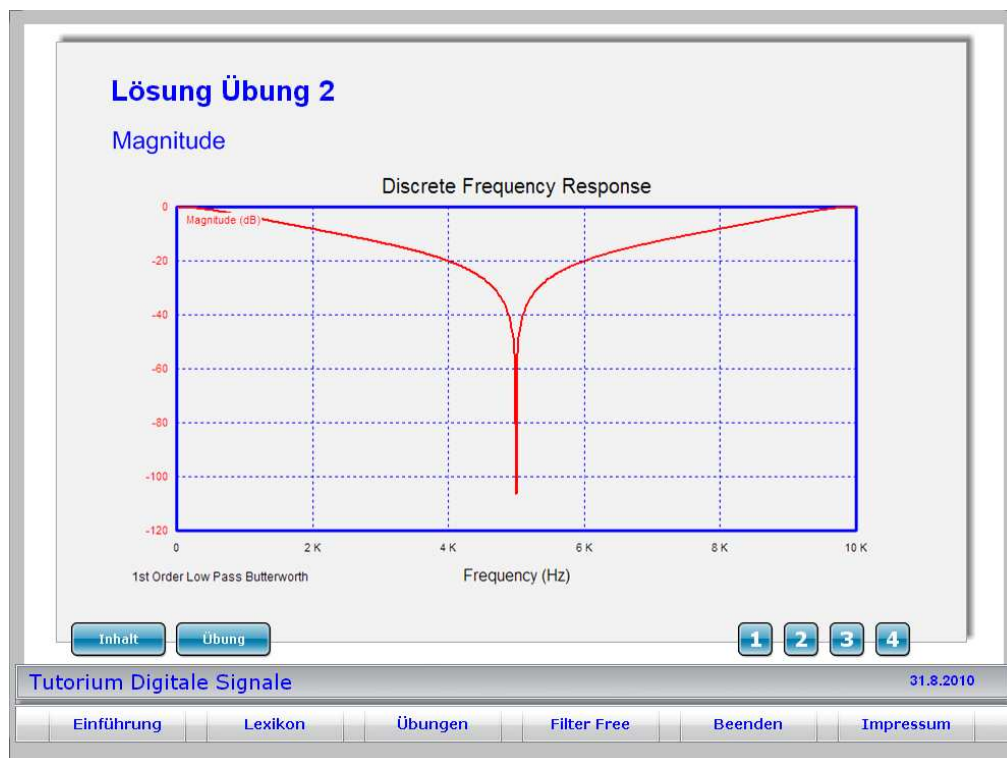
Tutorium Digitale Signale 31.8.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden Impressum

## Lösung zu Übung 2



## Lösung zu Übung 2



## Übung 3

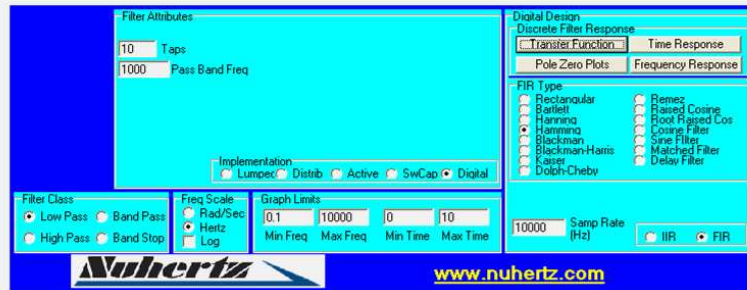
### Übung 3 Filter Free

FIR Digitales Tiefpassfilter 1ter Ordnung

Entwurf nach der Fenstermethode,  $f_D=1\text{kHz}$ ,  $f_A=10\text{kHz}$ ;

Ges:  $H(z)$  und Frequenzverhalten

Einstellungen Filter Free: (Beispiel für Hamming Fenster)



Inhalt Lösung

Tutorium Digitale Signale

13.9.2010

Einführung

Lexikon

Übungen

Filter Free

Beenden

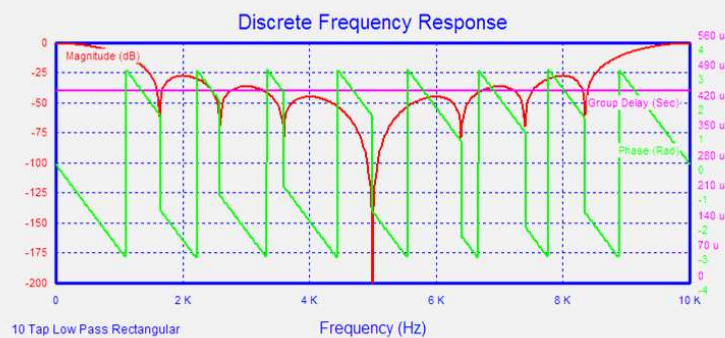
Impressum

## Lösung zu Übung 3

### Lösung Übung 3

a) Rechteckfenster

$$\frac{1.849e-02 \cdot Z^9 + 6.223e-02 \cdot Z^8 + .1077 \cdot Z^7 + .1452 \cdot Z^6 + .1664 \cdot Z^5 + .1664 \cdot Z^4 + .1452 \cdot Z^3 + .1077 \cdot Z^2 + 6.223e-02 \cdot Z + 1.849e-02}{Z^9}$$



Inhalt Übung

2 3 4 5

Tutorium Digitale Signale

31.8.2010

Einführung

Lexikon

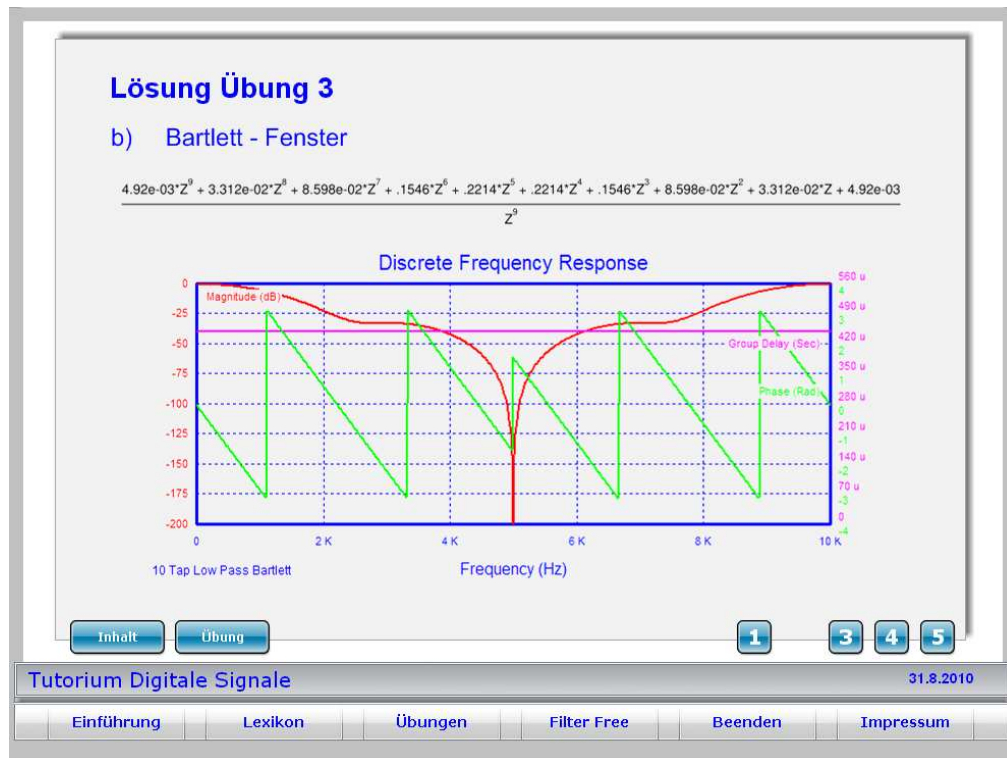
Übungen

Filter Free

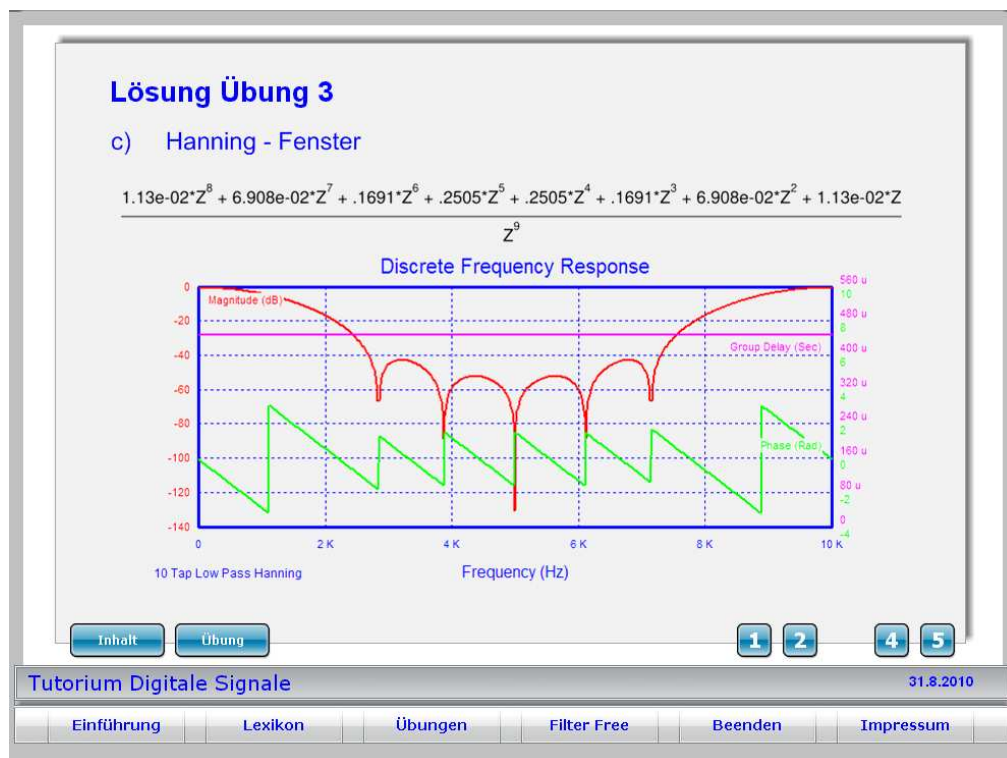
Beenden

Impressum

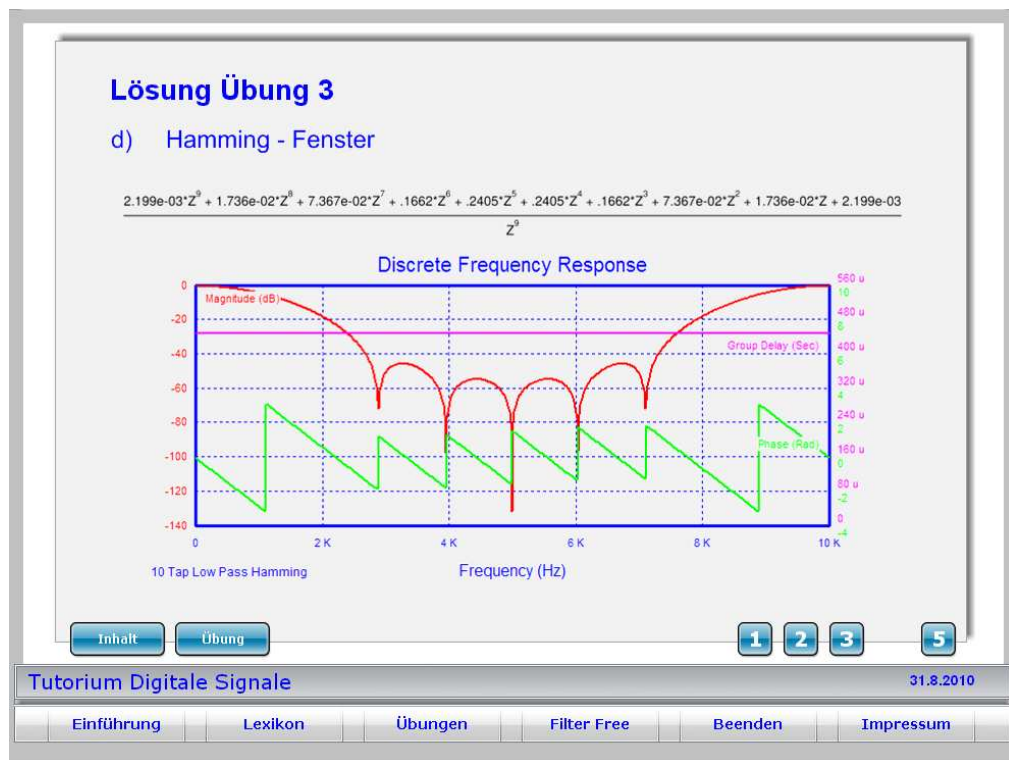
## Lösung zu Übung 3



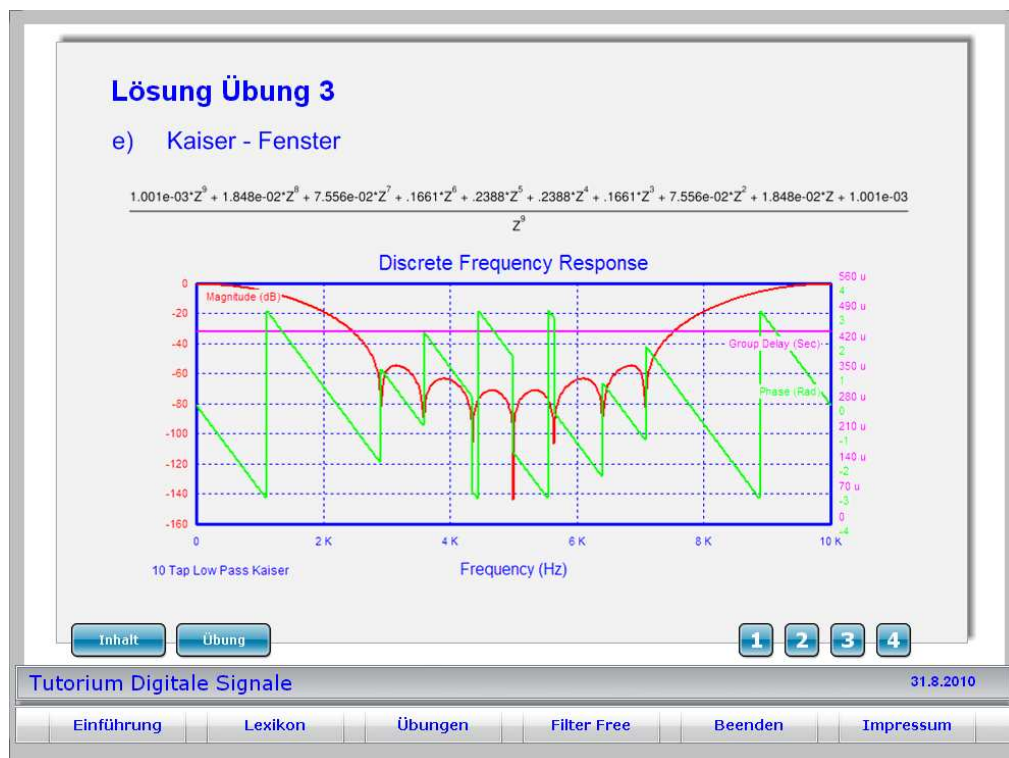
## Lösung zu Übung 3



## Lösung zu Übung 3



## Lösung zu Übung 3





## Übung 4

### Übung 4 Filter Free

FIR Digitales Filter - Entwurf eines Remez Tiefpasses

$f_D=1\text{kHz}$ ,  $f_A=10\text{kHz}$ , Sperrfrequenz 1,9Hz;

Ripple Ratio 10, 15, 25

Ges:  $H(z)$  und Frequenzverhalten

Einstellungen Filter Free: (Beispiel für Ripple Ratio 10)

The screenshot shows the 'Filter Attributes' and 'Digital Design' panels of the Filter Free software. In the 'Filter Attributes' panel, the 'Taps' are set to 9, 'Ripple Ratio' to 10, 'Pass Band Freq' to 1000, and 'Stop Band Ratio' to 1.9. The 'Stop Band' is set to 'Ratio'. The 'Implementation' is set to 'Digital'. In the 'Digital Design' panel, the 'Discrete Filter Response' is set to 'Transfer Function', and the 'FIR Type' is set to 'Remez'. The 'Samp Rate (Hz)' is set to 10000. The 'Filter Class' is set to 'Low Pass'. The 'Freq Scale' is set to 'Rad/Sec'. The 'Graph Limits' show 'Min Freq' at 0.1, 'Max Freq' at 10000, 'Min Time' at 0, and 'Max Time' at 10. The 'Nuhertz' logo and website URL 'www.nuhertz.com' are visible at the bottom.

Inhalt Lösung

Tutorium Digitale Signale

13.9.2010

Einführung

Lexikon

Übungen

Filter Free

Beenden

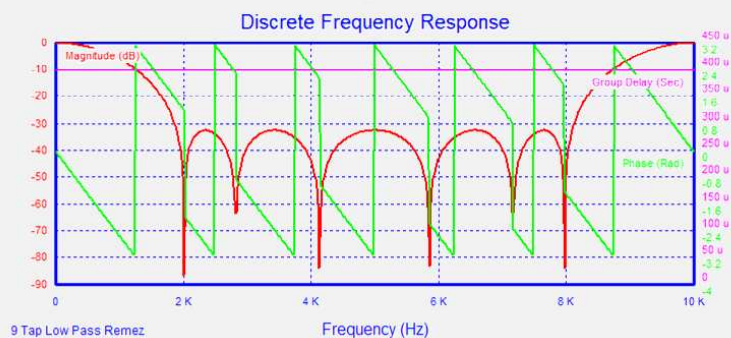
Impressum

## Lösung zu Übung 4

### Lösung Übung 4

a) Ripple Ratio = 10

$$\frac{1.462e-02 \cdot Z^8 + 7.254e-02 \cdot Z^7 + .1272 \cdot Z^6 + .1836 \cdot Z^5 + .2042 \cdot Z^4 + .1836 \cdot Z^3 + .1272 \cdot Z^2 + 7.254e-02 \cdot Z + 1.462e-02}{Z^8}$$



Inhalt

Übung

2

3

Tutorium Digitale Signale

31.8.2010

Einführung

Lexikon

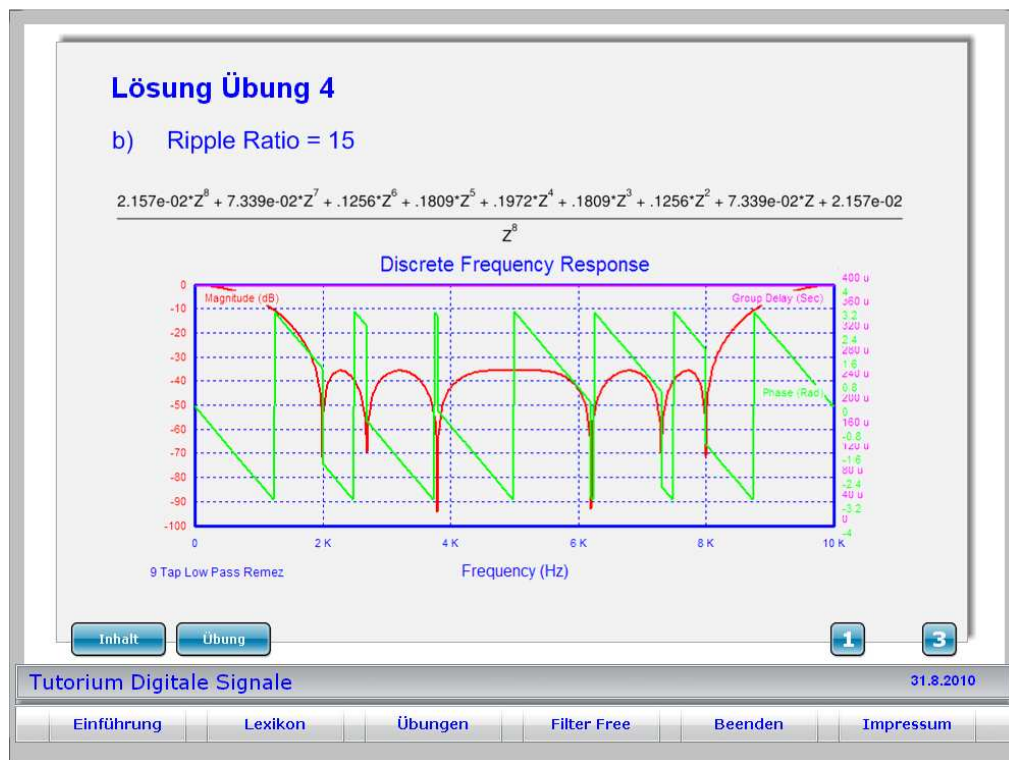
Übungen

Filter Free

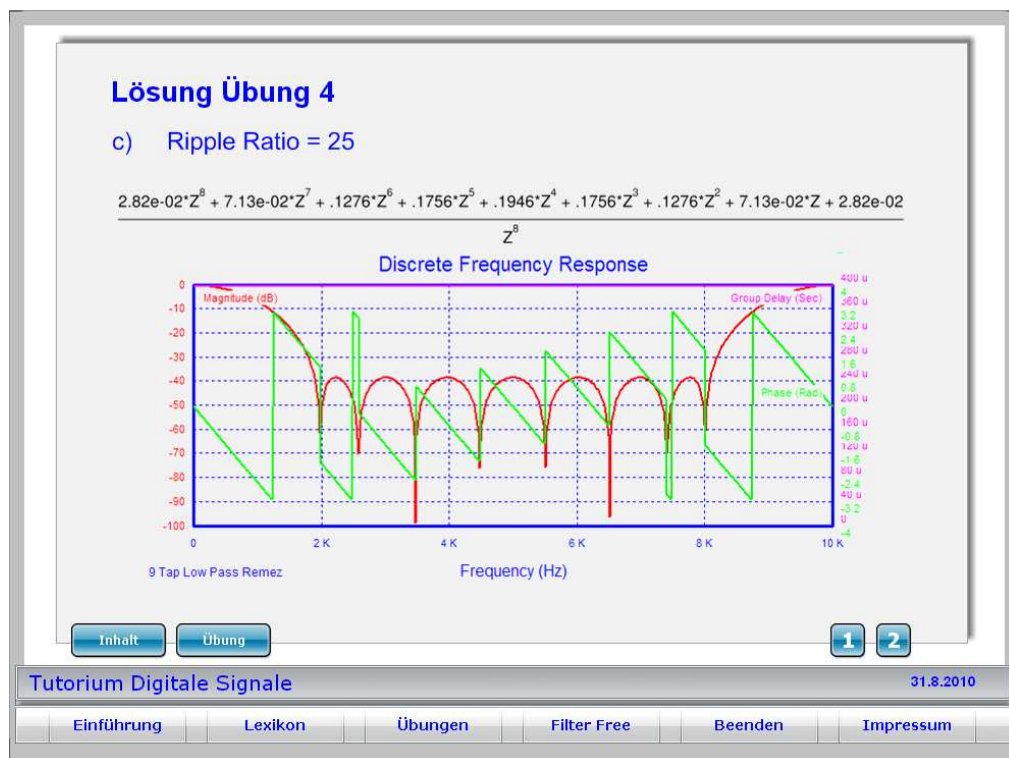
Beenden

Impressum

## Lösung zu Übung 4



## Lösung zu Übung 4



## Impressum

The image is a screenshot of a presentation slide titled "Impressum". The title is in a large, blue, 3D-style font. Below the title, there is a line of text: "Das Tutorium wurde im Rahmen einer Diplomarbeit entwickelt." followed by "Gesamtkonzept - Inhalt - Realisierung:" and "Alfred Plank". Further down, it says "Fachliche Betreuung und Quellen:" followed by "Prof. Dr. -Ing. habil Reinhard Sporbert", "Prof. Dr. -Ing. habil H.- J. Thomanek", and "Hochschule Mittweida". At the bottom of the slide, there is a navigation bar with the text "Tutorium Digitale Signale" on the left and "13.9.2010" on the right. Below this bar is a row of buttons: "Einführung", "Lexikon", "Übungen", "Filter Free", "Beenden", and "Impressum". The "Impressum" button is highlighted.

# Impressum

Das Tutorium wurde im Rahmen einer Diplomarbeit entwickelt.

**Gesamtkonzept - Inhalt - Realisierung:**  
Alfred Plank

**Fachliche Betreuung und Quellen:**  
Prof. Dr. -Ing. habil Reinhard Sporbert  
Prof. Dr. -Ing. habil H.- J. Thomanek  
Hochschule Mittweida

Tutorium Digitale Signale 13.9.2010

Einführung Lexikon Übungen Filter Free Beenden **Impressum**



## Literaturverzeichnis

- [Ado101]. **Adobe. 2010.** Adobe Director . *Adobe*. [Online] 2010. [Zitat vom: 25. August 2010.] <https://192.150.14.120/support/documentation/de/director/>.
- [Ado10]. —. **2010.** Flash CS5. [Online] 2010. [Zitat vom: 25. August 2010.] <http://tv.adobe.com/de/watch/flash-professional-cs5-einf%C3%BChrung/flash-cs5-erstellen-von-interaktiven-weberlebnissen/>.
- [Arn]. **Arnold, Patricia.** *Einsatz digitaler Medien in der Hochschullehre aus lerntheoretischer Sicht*. [PDF]
- [Bal97]. **Ballstaedt, Steffen Peter. 1997.** *Wissensvermittlung, die Gestaltung von Lernmaterial*. s.l. : Beltz, Psychologie-Verl.-Union, 1997.
- [Bau07]. **Baumgartner, Peter. 2007.** *Überwindung von Schranken durch E-Learning*. Innsbruck; Wien; Bozen : Studien Verlag, 2007.
- [Bau99]. **Baumgartner, Peter und Payr, Sabine. 1999.** *Lernen mit Software*. Innsbruck; Wien; München : Studienverlag Ges. m. b. H., 1999.
- [Bol]. **Boles, Dietrich.** *Graphisch interaktive Werkzeuge zur Erstellung multimedialer Anwendungen*. [PDF]
- [Bru02]. **Bruns, Beate und Gajewski, Petra. 2002.** *Multimediales Lernen im Netz. Leitfaden für Entscheider und Planer*. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2002.
- [eBo09]. **eBookAktiv. 2009.** eBook\_Filter. *ebookaktiv*. [Online] 05. März 2009. [Zitat vom: 31. August 2010.] [http://www.ebookaktiv.de/eBook\\_Filter/eBook\\_Filter.htm](http://www.ebookaktiv.de/eBook_Filter/eBook_Filter.htm).
- [Hen07]. **Henning, Peter. 2007.** *Handbuch Multimedia*. München : Carl Hanser Verlag, 2007.
- [Hyd00]. **Hyder, Friedrich. 2000.** *Autorensystem moderne Werkzeuge für die Schule*. Frensdorf : Digital Druck GmbH, 2000.

- [Ker01]. **Kerres, Michael. 2001.** *Multimediale und telemediale Lernumgebung.* München Wien Oldenburg : Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH, 2001.
- [Kon]. *Konzeption von E-Learning: Wissenschaftliche Theorien, Modelle und Befunde.* [PDF]
- [Kuh]. **Kuhlmann, Anette und Sauter Prof. Dr., Werner. 2008.** *Innovative Lernsysteme.* Berlin; Heidelberg : Springer Verlag, 2008.
- [Mat09]. **Matchware. 2009.** Mediator. *Matchware.* [Online] 2009. [Zitat vom: 25. August 2010.] <http://www.matchware.com/ge/products/mediator/>.
- [Mic10]. **Microsoft. 2010.** Powerpoint. *Microsoft Office.* [Online] 2010. [Zitat vom: 25. August 2010.] <http://office.microsoft.com/de-at/powerpoint/>.
- [Mor08]. **Moritz, Werner. 2008.** *Blended Learning.* Norderstedt : Books on Demand GmbH, 2008.
- [Naz04]. **Nazemi, Framorz. 2004.** *Systemanalytische Methoden zur Auswahl von Standardsoftware.* Norderstedt : Books on Demand GmbH, 2004.
- [Nie04]. **Niegemann, Helmut. 2004.** *Kompodium E-Learning.* Heidelberg : Springer Verlag Berlin, 2004.
- [Nis98]. **Nispel, Andrea, Stang, Richard und Hagedorn, Friedrich. 1998.** *Pädagogische Innovation mit Multimedia 1.* [PDF] s.l. : Deutsches Institut für Erwachsenenbildung, 1998.
- [Sch04]. **Schelten, Andreas. 2004.** *Einführung in die Berufspädagogik.* s.l. : Franz Steiern Verlag, 2004.
- [Sch01]. **Schröder, Hartwig. 2001.** *Didaktisches Wörterbuch.* Oldenbourg : Wissenschaftsverlag, 2001.
- [Sch07]. **Schulmeister, Rolf. 2007.** *Grundlagen hypermedialer Lernsysteme.* München; Wien : Oldenburg Verlag, 2007.
- [Beh06]. **Stangl, Werner. 2006.** Lexikon.Stangl. *Behaviorismus/.* [Online] Institut für Pädagogik und Psychologie, 8. Juni 2006. [Zitat vom: 27. Juli 2010.] <http://lexikon.stangl.eu>.

- [Tip10]. **Tippelt, Rudolf und von Hippel, Aiga. 2010.** *Handbuch Erwachsenenbildung Weiterbildung*. Wiesbaden : VS Verlag für Sozialwissenschaft, 2010.
- [Wer07]. **Werner, Dieter und Schneider, Uwe. 2007.** *Taschenbuch der Informatik*. s.l. : Hanser Verlag, 2007.
- [Wik10]. **Wikipedia. 2010.** E-Learning. *Wikipedia*. [Online] 24. Juli 2010. [Zitat vom: 23. Juli 2010.] <http://de.wikipedia.org/wiki/E-Learning>.



## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ambach, den 24. September 2010

Alfred Plank